



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

PAULO HENRIQUE CAVALLINI

Sistema de comando para bombeamento em operações críticas

Guaratinguetá
2023

Paulo Henrique Cavallini

Sistema de comando para bombeamento em operações críticas

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador (a): Prof. Dr. Durval Luiz Silva Ricciulli

Coorientador (a): Prof. Dr. Daniel Julien Barros da Silva Sampaio

Guaratinguetá
2023

C377s	Cavallini, Paulo Henrique Sistema de comando para bombeamento em operações críticas / Paulo Henrique Cavallini – Guaratinguetá, 2023. 76 f : il. Bibliografia: f. 66-68 Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2023. Orientador: Prof. Dr. Durval Luiz Silva Ricciulli Coorientador: Prof. Dr. Daniel Julien Barros da Silva Sampaio 1. Bombeamento de água 2. Drenagem. 3. Controle automático I. Título. CDU 621.6.05
-------	--

Pâmella Benevides Gonçalves
Bibliotecária CRB-8: 9203

PAULO HENRIQUE CAVALLINI

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE
DO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA


Prof. Dr. DANIEL JULIEN BARROS DA SILVA SAMPAIO
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. DURVAL LUIZ SILVA RICCIULLI

Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. EVALDO CHAGAS GOUVÊA

UNESP-FEG


Prof. Dr. TEOFILO MIGUEL DE SOUZA

UNESP-FEG

DADOS CURRICULARES

PAULO HENRIQUE CAVALLINI

NASCIMENTO 20/09/1997 - São Paulo/SP

FILIAÇÃO Paulo Domingos Cavallini

Gladys Cavallini

2014 Curso de Montagem de Painéis Elétricos Senai - São Paulo

2014/2016 Técnico em Eletrotécnica

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo -
Câmpus São Paulo.

Dedico este trabalho a minha família, pelo suporte para todas as situações de minha vida. Ao meu amigo de pesca Paulo Domingos, que nunca duvidou da minha capacidade e sempre me motivou a buscar novos desafios.

AGRADECIMENTOS

À Faculdade, que pelo ensino de qualidade, oportunizou minha evolução na área, contribuindo para minha profissionalização, ladeada por pilares da ética, respeito e amizade.

À minha Família, razão de minha força pela permanência na Faculdade, a causalidade da escolha e a busca constante do conhecimento.

Aos meus Pais: Paulo Domingos Cavallini e Gladys Cavallini. Ele, compartilhando sua paixão pela eletricidade e, levando-me a conhecimentos que não se ensinam em livros. Ela, que me permitiu a vida e acompanhou, registrou e carinhosamente apoiou toda minha jornada com resiliência.

A minha Parceira, Juliana Luci Cansone, porto seguro nesta jornada, dedicou seu carinho, apoio emocional e companheirismo em todo o decorrer desta empreitada.

Ao Prof. Dr. Durval Luiz Silva Ricciulli por dedicar seu tempo em me orientar no trabalho de graduação, promover qualidade na escrita, e ratificar sua parceria nos encontros de orientação.

E aos meus Amigos e Colegas do curso João Vitor Rodrigues, Jaine Fernandes e Leandro Faria, por partilhar 4 anos de amizade e faculdade.

“Você pode encontrar as coisas que perdeu,
mas nunca as que abandonou”

Gandalf

RESUMO

As infiltrações por águas subterrâneas são problemas recorrentes nas construções prediais, residenciais e zonas com intensa exploração do solo. A proposta é conduzir a água para fora do local de forma a evitar grandes acúmulos de líquido e possíveis problemas decorrentes. Sendo assim, a solução foi o projeto de um sistema diferenciado de comando com contadores e boias de nível. O sistema trabalha de forma automática ou manual com suas bombas principais m1 e m2, as quais por sua vez são selecionadas de maneira unitária ou alternantes. O diferencial deste projeto, para assegurar a continuidade da drenagem, fundamenta-se em duas prevenções suplementares aos projetos mais comuns de drenagem com sistemas automaticamente reversíveis. A primeira foi assegurar que em caso de sobrecarga de uma das bombas principais, a bomba parceira assuma automaticamente a vacância e dê continuidade ao esgotamento. A segunda prevenção, foi a inserção de uma terceira bomba no sistema, cuja função principal é garantir que o líquido não ultrapasse o nível 4, mesmo com uma das bombas principais em sobrecarga. Desta forma a bomba 3, assim isolada das demais, torna-se independente e cumpre o serviço de drenagem, substituindo a bomba ausente. O projeto também contempla a proteção dos níveis caso uma das boias falhe e aplica o princípio de redundância nos sensores. Com a montagem física do sistema de comando, comprovou-se a eficiência do projeto, que também admite expansão com a utilização de outras fontes de energia, bem como a adição de sistemas de monitoramento local e remoto.

PALAVRAS-CHAVE: boia. extravasão. coordenação. proteção de nível. bomba.

ABSTRACT

Infiltration by groundwater is a recurring problem in buildings, residential buildings and areas with intense soil exploration. The proposal is to conduct the water away from the local in order to avoid large accumulations of liquid and possible resulting problems. Thus, the solution was the design of a differentiated command system with contactors and level floats. The system works automatically or manually with its main pumps m1 and m2, which in turn are selected individually or alternately. The differential of this project, to ensure the continuity of the drainage, is based on two additional preventions to the most common drainage projects with automatically reversible systems. The first was to ensure that in case of an overload in one of the main pumps, the partner pump would automatically take over the vacancy and continue the depletion. The second prevention was the insertion of a third pump in the system, whose main function is to ensure that the liquid does not exceed level 4, even with one of the main pumps overloaded. In this way, pump 3, thus isolated from the others, becomes independent and fulfills the drainage service, replacing the missing pump. The project also contemplates the protection of the levels in case one of the floats fails and applies the principle of redundancy in the sensors. With the physical assembly of the command system, the efficiency of the project was proven, which also allows for expansion with the use of other energy sources, as well as the addition of local and remote monitoring systems.

KEYWORDS: float. extravasation. selectivity. level protection. pump.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Trajectoria do Fluxo.....	15
Figura 2 -	Disjuntor motor MPW40.....	22
Figura 3 -	Relés RW da WEG.....	23
Figura 4 -	Contator de potência CWB da WEG.....	25
Figura 5 -	Queda de tensão máxima permitida durante a partida.....	26
Figura 6 -	Valores médios de resistência e reatâncias (condutores PVC/70 °C).....	28
Figura 7 -	Simbologia gráfica.....	29
Figura 8 -	Botoeira liga e desliga.....	29
Figura 9 -	Chave de duas posições.....	30
Figura 10 -	Representação de um contator.....	30
Figura 11 -	Circuito de um reservatório de água.....	32
Figura 12 -	Disposição das boias.....	34
Figura 13 -	Bomba submersível escolhida.....	35
Figura 14 -	Circuito de força eletromotriz.....	36
Figura 15 -	Localização das chaves seletoras.....	42
Figura 16 -	Circuito automático e manual.....	43
Figura 17 -	Sistema de revezamento.....	44
Figura 18 -	Motor 2 em funcionamento.....	45
Figura 19 -	Armazenando a informação de k2.....	46
Figura 20 -	Motor 1 em funcionamento.....	47
Figura 21 -	Circuito inicial.....	47
Figura 22 -	Redundância da boia b0.....	48
Figura 23 -	Ativação da boia de extravasão na subida.....	50
Figura 24 -	Desativação da extravasão na descida.....	51

Figura 25 -	Falha da boia b1 durante a subida	52
Figura 26 -	Falha da boia b0 durante a subida.....	53
Figura 27 -	Ativação do motor 3 pela boia b2.....	54
Figura 28 -	Modo bomba 1 com a primeira bomba em sobrecarga.....	55
Figura 29 -	Modo bomba 2 com a segunda bomba em sobrecarga.....	55
Figura 30 -	Modo revezamento com a bomba 1 em sobrecarga.....	56
Figura 31 -	Modo revezamento com a bomba 2 em sobrecarga.....	57
Figura 32 -	Tabela de entradas e saídas.....	58
Figura 33 -	Sistema automático e manual do CLP.....	59
Figura 34 -	Diagrama ladder do circuito secundário e extravasão.....	60
Figura 35 -	Diagrama do modo bomba 1 e 2.....	61
Figura 36 -	Diagrama de revezamento das bombas principais.....	62
Figura 37 -	Diagrama ladder das saídas e proteção de nível.....	63
Figura 38 -	Diagrama das lâmpadas de sinalização.....	63
Figura 39 -	Tabela comparativa de custos (10/11/2022)	64
Figura 40 -	Sistema final de comando.....	70
Figura 41 -	Montagem do sistema de comando e manobra.....	71
Figura 42 -	Seleção do modo bomba 1 no painel.....	72
Figura 43 -	Seleção do modo bomba 2 no painel.....	73
Figura 44 -	Ativação da boia de extravasão no quadro.....	73
Figura 45 -	Falha da boia b0 no painel.....	74
Figura 46 -	Falha da boia b1 no painel.....	74
Figura 47 -	Ativação do motor 3 pela boia b2 no painel.....	75
Figura 48 -	Modo revezamento com a bomba 2 em sobrecarga no painel.....	75
Figura 49 -	Modo revezamento com a bomba 1 em sobrecarga no painel.....	76

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 A IMPORTÂNCIA DO SISTEMA DE DRENAGEM	13
1.2 OBJETIVO DO TRABALHO	14
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	14
2 ASPECTOS CONCEITUAIS	15
2.1 INFILTRAÇÕES POR ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	15
2.2 REDUNDÂNCIA DE SENSORES	16
2.3 BOMBAS SUBMERSAS E SUBMERSÍVEIS	16
2.4 DIMENSIONAMENTO DOS CABOS	17
2.4.1 Circuito alimentador	18
2.4.2 Método da capacidade de corrente	18
2.4.3 Método da queda de tensão nos alimentadores para circuitos trifásicos	19
2.4.4 Ramais	20
2.4.5 Método da capacidade de corrente nos ramais	20
2.4.6 Método da queda de tensão nos ramais	21
2.5 DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS DE PROTEÇÃO E COMANDO	21
2.5.1 Disjuntores motores	21
2.5.2 Relé térmico	23
2.5.3 Contatores	25
2.6 QUEDA DE TENSÃO PREVISTA NA PARTIDA DE MOTORES	26
2.7 CONCEITOS DE COMANDOS ELÉTRICOS	28
2.7.1 Simbologia de comando	28
2.7.2 O que são sistemas automáticos e manuais	31
2.7.3 Princípio do revezamento automático de bombas	32
3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	34
3.1 DISPOSIÇÃO DAS BOIAS	34
3.2 DIMENSIONAMENTOS	35
3.2.1 Dimensionamento dos cabos do disjuntor geral	36
3.2.2 Dimensionamento dos ramais	37
3.2.3 Cálculo da queda de tensão durante a partida	39
3.2.4 Disjuntores motores, contatores e relés-térmicos	40

3.3 PRINCÍPIO DO REVEZAMENTO.....	41
3.3.1 Sistema automático e manual.....	42
3.3.2 Sistema revezamento de bombas.....	44
3.4 REDUNDÂNCIA DE BOIA INFERIOR.....	48
3.5 PARTICULARIDADES DO SISTEMA.....	49
3.5.1 Atuação da boia de extravasão.....	49
3.5.2 Proteção contra falhas de boias.....	51
3.5.3 Atuação da boia b2 no nível 4.....	53
3.5.4 Atuação do relé térmico no modo bomba 1 ou bomba 2.....	54
3.5.5 Atuação do relé térmico no revezamento.....	56
3.6 APLICAÇÃO DO PROJETO EM CLP.....	58
3.7 TABELA DE CUSTOS.....	64
4 CONCLUSÃO.....	65
REFERÊNCIAS.....	66
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	69
Anexo A - Comando final.....	70
Anexo B - Montagem do sistema.....	71

1 INTRODUÇÃO

Um sistema de drenagem subterrânea consiste em um conjunto de bombas d'água e sensores, que atuam quando há infiltrações nas proximidades do subleito. À medida que as infiltrações ascendentes ocorrem, as boias de nível mudam seu estado lógico e enviam um sinal para o painel de comando, com isso, o processo de sucção inicia-se por meio de um motor. Como em sua maioria as águas provenientes da drenagem subterrânea possuem resíduos sólidos, o transporte é feito para as áreas externas ao local.

As regiões que necessitam de um sistema de drenagem variam desde os lugares urbanos (ruas, residências e edifícios prediais) a lugares rurais (fazendas, chácaras e ranchos). Os locais urbanos possuem menor porosidade e absorção em relação ao solo, dificultando a dispersão ou eliminação do líquido. De forma similar, em regiões rurais, há um acúmulo de água em razão da permeabilidade do solo e as variações de pressão hidrostática. Um exemplo comumente visto são as plantações mortas pelo encharcamento das raízes, através do acúmulo da chuva e infiltrações do lençol freático. Existem cinco tipos de dreno: drenos abertos profundos, drenos de cano, drenos de dique, drenos interceptores e bombas de água subterrânea (FERREIRA, 2019).

1.1 A IMPORTÂNCIA DO SISTEMA DE DRENAGEM

As infiltrações podem ocorrer de forma espontânea e rápida, portanto, necessitam de uma resposta automática e precisa. O avanço indesejável da água na subsuperfície pode acarretar em danos às regiões prediais: fundações, vigas baldrame ou até a submersão do subsolo. É comum também em residências, as infiltrações deteriorarem as pinturas, o gesso e regiões de contato direto ao solo (RIBEIRO; JERONIMO, [20–]).

Portanto, é importante salientar a necessidade da existência de um sistema de drenagem ou condução das águas nas regiões de saturação, para assim, não incorrer em danos às estruturas, bens e pessoas.

1.2 OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo deste trabalho é projetar e montar um sistema de manobra para a drenagem crítica de fluidos subterrâneos em regiões prediais. Esse projeto considera o revezamento automático entre duas bombas, a simultaneidade em níveis de extravasão, a proteção contra a possibilidade de uma das bombas principais entrar em regime de sobrecarga e também a proteção, caso um dos sensores não atue nos níveis inferiores. Uma terceira bomba será necessária para garantir que o sistema continue a funcionar caso uma das bombas principais entre em regime de sobrecarga ou curto-circuito, logo, a terceira bomba fará a mesma função de extravasão que no circuito original, mas com funcionamento intercalado entre bomba 1 e 3 ou bomba 2 e 3.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho possui quatro capítulos em sua totalidade, no qual o primeiro faz uma breve introdução sobre o tema, explica a importância do sistema de drenagem e propõe um objetivo a ser alcançado.

O capítulo de número dois inicia com conceitos fundamentais de física, em que explica a formação de líquidos infiltrantes em razão do desequilíbrio hidrostático. Há também a apresentação dos cálculos para o sistema de potência e comando, a explicação sucinta dos motores de drenagem, a introdução a simbologia de comando e a lógica básica dos circuitos de drenagem subterrânea.

O capítulo três refere-se a parte de desenvolvimento do projeto, em que apresenta os cálculos do dimensionamento, os circuitos primordiais de comando para o revezamento dos motores, os circuitos automáticos e manuais, a manobra de contadores especiais para a falha de nível ou sobrecarga dos motores e uma planilha de comparação de custos. A lógica inicial do CLP também será abordada neste capítulo para efeito de comparação.

O capítulo quatro faz a conclusão final do trabalho, em que leva em consideração o aprendizado durante todo o processo e traz considerações finais sobre o assunto.

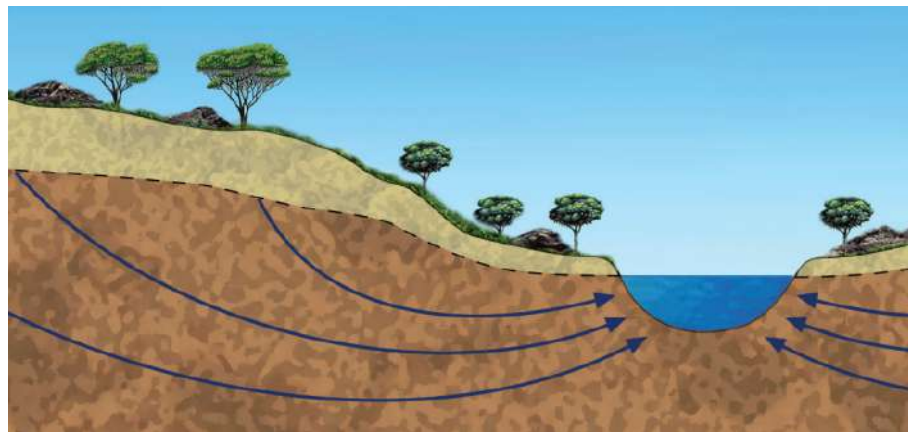
2 ASPECTOS CONCEITUAIS

2.1 INFILTRAÇÕES POR ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

“A água da zona de saturação, uma vez atingida por uma perfuração, flui das fraturas e poros para o interior da perfuração, preenchendo-a até o nível regional do lençol freático.” (JANETE, [20–], p. 264). O fenômeno físico citado trata-se do equilíbrio hidrostático da água, as perfurações provocam desequilíbrios no sistema, com isso, o líquido ascende de acordo com o potencial do lençol freático. A medida que ocorram novas perfurações, o lençol freático também pode recuar. A figura 1 ilustra a trajetória do fluxo de água em razão da força gravitacional.

Os poços onde ocorrem a drenagem são de natureza jorrante e possuem elevada pressão hidrostática. Há lugares onde o aumento do nível da água é indesejável e pode trazer consequências desastrosas para a estrutura. Outro ponto importante é a maneira de como a drenagem da água deve ser feita sob condições críticas de fluxo, assim dizendo, um projeto de drenagem deve levar em consideração as variações de intensidade na ascensão do líquido.

Figura 1: Trajetória do fluxo



Fonte: Janete ([20–])

Uma forma de conduzir a água proveniente das perfurações é drenar por meio de bombas submersas ou submersíveis, essas conduzem o líquido que pode conter impurezas para fora do local. Existe a preferência por bombas com trituradores, pois, quebram as

partículas sólidas em dimensões menores e também garantem que um sólido com determinada dimensão não danifique a bomba.

2.2 REDUNDÂNCIA DE SENSORES

A redundância nos sensores, de acordo com Altus ([20–]), consiste em manter sistemas duplicados ou triplicados para que o processo ocorra de forma garantida. Existem três quesitos importantes no sistema redundante: robustez, disponibilidade e segurança. O primeiro refere-se à capacidade de continuar o processo com a ocorrência de uma falha, o segundo trata do sistema estar disponível sempre que requisitado e o terceiro é a proteção dos bens, estruturas e a integridade das pessoas.

Nos processos de automação industrial é comum encontrar redundâncias nos sensores, visto que existem processos em que podem resultar em uma explosão, como no caso particular de uma caldeira. De forma similar encontrada nos sistemas de automação são os sistemas aviônicos, que de acordo com Henrique (2018) são encontradas redundâncias quádruplas e triplas nos barramentos ARINIC 629, por exemplo.

2.3 BOMBAS SUBMERSAS E SUBMERSÍVEIS

Atualmente existem diversas opções de bombas hidráulicas para múltiplas aplicações. De acordo com Conapesc (2020), as utilizações mais frequentes são de: saneamento, drenagem, irrigação, abastecimento e refrigeração. A classificação das bombas modifica conforme alguns parâmetros, como: altura manométrica, vazão do recalque, estrutura do rotor, velocidade de rotação e tipo de carga.

Para algumas aplicações de bombas centrífugas, existem duas associações possíveis para máquinas de potência equivalente. Quando há a necessidade de aumentar a vazão, a associação de bombas em paralelo é uma boa opção. A segunda opção é a operação de bombas em série, essas amplificam a altura manométrica para recalques de grandes alturas. Salientando que é preferível associar as bombas, quando não existem máquinas capazes de atingir as vazões necessárias ou a altura manométrica.

Bombas submersas são um caso especial de aplicação, no qual sua função é pressionar o líquido durante o processo de bombeamento da água. De forma geral, as bombas submersas são motores assíncronos de origem monofásica ou trifásica. Seu funcionamento é submerso na água de maneira contínua, com altura máxima de 20 metros de profundidade, portanto, as emendas à prova de água devem ser bem executadas. Para cada aplicação desejada, o motor precisa conseguir suprir as solicitações de carga e é aconselhável também uma diferença entre a potência consumida e a potência do motor (PEREIRA, 2016). As bombas submersíveis são bombas centrífugas, essas funcionam dentro da água por um tempo máximo estabelecido pelo fabricante. Sua altura máxima pode alcançar até 60 metros de profundidade para alguns modelos, para isso, são hermeticamente fechadas por selos mecânicos. Em aplicações que exigem o uso da bomba em lugares contaminados com resíduos sólidos, uma tela de retenção é imprescindível (CONAPESC, 2020). Como a corrente nos motores depende de alguns parâmetros de projeto, como: altura, perda de carga nos tubos, volume diário e rendimento eletromecânico do motor. A forma de estimar a corrente nominal dos motores é por meio de valores de potência entregue pelo motor, essa potência entregue é normalmente conhecida em cavalo-vapor (cv) ou em horse-power (hp). O cálculo é feito de acordo com a corrente de projeto, que contempla a temperatura de trabalho e o agrupamento de circuitos.

2.4 DIMENSIONAMENTO DOS CABOS

A escolha do diâmetro dos condutores utilizados no trecho terminal e ramal depende do valor da corrente de projeto, ademais, deve-se levar em consideração o método utilizado (A1, A2, B1, B2, C e D) e o material isolante (PVC, EPR e XLPE), conforme a ABNT - NBR 5410. Para o cálculo da corrente nominal de projeto, a equação (1) indica quais são os parâmetros necessários.

$$I_n = \frac{P_{cv} \times 736}{\sqrt{3} \times V_n \times \cos \varphi \times \eta} \quad (1)$$

Considerando:

I_n : corrente nominal de projeto [A];

P_{cv} : potência do motor [cv];

V_n : tensão nominal [V]; ¹

$\cos\varphi$: fator de potência;

η : rendimento eletromecânico do motor;

2.4.1 Circuito alimentador

Circuitos que alimentam um ou mais quadros terminais são chamados de circuitos alimentadores. A característica principal dos circuitos alimentadores é que estão em proximidade com a fonte de alimentação ou de quadros de distribuição. Vale ressaltar que podem ser monofásicos, bifásicos e trifásicos. O cálculo dos condutores possui dois métodos que são utilizados: método da capacidade de corrente e queda de tensão.

2.4.2 Método da capacidade de corrente

Segundo Creder (2022) os condutores que alimentam um ou mais motores precisam atender a uma capacidade de corrente superior ou igual a soma das correntes nominais de cada motor, com o produto de cada fator de serviço, conforme a equação (2). “Chama-se fator de serviço (FS) o fator que, aplicado à potência nominal, indica a sobrecarga permissível que pode ser aplicada continuamente ao motor sob condições especificadas.” (MORO, 2014, p. 68).

$$I_{alm} \geq \sum_{i=1}^n f_{si} \times I_{ni} \quad (2)$$

sendo:

¹ Caso o motor não seja de característica trifásica deve-se retirar a constante $\sqrt{3}$ no denominador.

I_{alm} : corrente no alimentador [A];

f_{si} : fator de serviço de cada motor;

I_{ni} : corrente nominal de cada motor [A];

Mediante ao resultado obtido da equação (2) e admitindo um método de instalação conforme a norma ABNT - NBR 5410, verifica-se a seção transversal do condutor com isolamento PVC 70 °C, por exemplo. A corrente obtida também faz parte dos cálculos de proteção do disjuntor geral, sendo necessária para a garantir a hierarquia do funcionamento.

2.4.3 Método da queda de tensão nos alimentadores para circuitos trifásicos

A norma ABNT - NBR 5410 traz valores máximos permitidos a partir do ponto de entrega, sendo 5% o seu valor limite, portanto, é comum distribuir o valor máximo entre os alimentadores e ramais. Creder (2022) faz uma atribuição, por exemplo, de 3% para alimentadores e de 2% nos ramais, com isso, é garantido que a queda de tensão não ultrapasse os valores admissíveis.

Para circuitos trifásicos o cálculo da seção transversal nos alimentadores leva em consideração o comprimento do condutor e outros aspectos como: resistividade do material, queda de tensão absoluta e o somatório das correntes, conforme a equação (3).

$$S = \frac{\sqrt{3} \times \rho \times \sum f_{si} \times I_{ni} \times l_i}{u} \quad (3)$$

sendo:

S : seção transversal do condutor [mm²];

ρ : resistividade do material [$\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$]; ²

² A resistividade do material é de 0,01785 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ para o cobre e 0,03125 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ para o alumínio.

f_{si} : fator de serviço de cada motor;

I_{ni} : corrente nominal de cada motor [A];

l_i : comprimento dos condutores [m];

u : queda tensão absoluta;

2.4.4 Ramais

Os ramais são circuitos que estão em proximidade com a carga e compreendem as correntes individuais. O dimensionamento dos condutores utiliza os mesmos métodos do alimentador, mas considera a carga como valores individuais.

2.4.5 Método da capacidade de corrente nos ramais

De acordo com Creder (2022) os ramais têm semelhança no dimensionamento anterior, para o cálculo correto dos condutores utiliza-se os fatores de serviço multiplicados pela corrente nominal do motor, conforme a equação (4).

$$I_{rm} \geq f_s \times I_n \quad (4)$$

sendo:

I_{rm} : corrente no ramal [A];

f_s : fator de serviço do motor;

I_n : corrente nominal do motor [A];

2.4.6 Método da queda de tensão nos ramais

Os ramais dimensionados pelo método da queda de tensão utilizam a mesma fórmula da equação (3), com a exceção de: atribui-se uma queda de tensão de 2% ou menos para trecho e a corrente será os parâmetros unitários de cada motor.

2.5 DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS DE PROTEÇÃO E COMANDO

Em circuitos elétricos de potência, a proteção e segurança são assuntos de extrema relevância em projetos, nos quais são utilizados em sua maioria elementos de proteção de retaguarda. Há a preferência pela segurança positiva após um desligamento, em que resguarda a vida de pessoas sujeitas às descargas elétricas. Os dispositivos de proteção também devem priorizar a hierarquia de atuação, assim dizendo, uma coordenação de qualidade entre os dispositivos a jusante e montante.

2.5.1 Disjuntores motores

Disjuntores motores são utilizados em larga escala na indústria, estes abrangem múltiplas aplicações de manobra. A sua principal aplicação está na proteção de sobrecorrentes, seja por meio de disparadores magnéticos ou térmicos, a segunda forma de proteção é a contra curto-circuito por meio da ativação de disparadores eletromagnéticos. Existem algumas vantagens de utilizar esse dispositivo de proteção: a atuação multipolar que evita o desequilíbrio em motores trifásicos, possuem um intervalo de ajuste da corrente e podem ser rearmados mesmo após a atuação, Moro (2014). Uma característica dos disjuntores motores é o disparo magnético ser de 13 vezes a corrente máxima da faixa de ajuste, isso garante uma alta capacidade de interrupção referente às correntes de curto-circuito. A figura 2 mostra um exemplo de disjuntor motor.

Conforme a ABNT NBR 5410, quando os condutores que alimentam os motores forem protegidos pelo relé térmico, a proteção feita pelos disjuntores deverá promover

exclusivamente a atuação contra curto-circuito. Há outra configuração que também é permitida, no qual utiliza o disjuntor termomagnético e contadores, não obstante, a função de proteção de sobrecarga é seccionada diretamente pelo disjuntor motor e o acionamento do motor é feito por meio do contator.

Figura 2: Disjuntor motor MPW40



Fonte: WEG (2021)

Cotrim (2009) recomenda de forma prática, que a escolha da corrente de disparo magnético tenha valor maior do que a corrente de rotor bloqueado, contudo, não supere 12 vezes a corrente nominal do motor. A equação 5 indica a representação matemática do intervalo de escolha do disparo instantâneo de corrente.

$$I_p \leq I_{DM} \leq 12 \times I_n \quad (5)$$

em que os parâmetros são:

I_{DM} : corrente de disparo instantâneo do disjuntor motor [A]

I_p : corrente de rotor bloqueado [A];

I_n : corrente nominal do motor [A];

A corrente de rotor bloqueado de forma prática é a corrente de partida do motor. Nas placas dos motores, essa corrente é tratada na relação em pu (por unidade), ou seja, o fator I_p/I_n estabelece uma relação de k vezes a corrente nominal. A faixa da corrente de partida varia costumeiramente de seis a oito vezes a corrente nominal do motor, todavia, com algumas exceções.

2.5.2 Relé térmico

Para Moro (2014) os relés de sobrecorrente são dispositivos de proteção contra sobrecarga, essa proteção é fundamental para não deteriorar o isolamento dos materiais ou reduzir o tempo de vida dos motores. A definição de sobrecarga é a situação que leva ao superaquecimento pela perda Joule, determinados materiais suportam até certo valor e por determinado tempo. O princípio básico de funcionamento de um relé térmico é a deformação do material bimetalico, esses dois materiais possuem diferentes coeficientes de dilatação linear, com isso, para cada valor de corrente existe uma deformação maior ou menor. Com a atuação do relé térmico, os contatos principais são abertos e a parte do comando é comutada, essa comutação promove a interrupção da corrente nas bobinas e também o acendimento da lâmpada de sinalização de sobrecarga. A figura 3 mostra um conjunto de relés de sobrecarga.

Figura 3: Relés RW da WEG



Fonte: WEG (2021)

O dimensionamento do relé térmico considera um valor de corrente maior que o nominal, pois todos os motores trabalham com fatores de serviço maiores ou iguais a 1. A corrente de ajuste do relé é multiplicada por um valor percentual, esse valor depende das condições de temperatura e o fator de serviço, de acordo com a equação (6).

$$I_R = k \times I_n \quad (6)$$

sendo:

I_R : corrente de ajuste do relé térmico [A];

k : fator de correção;

I_n : corrente nominal do motor [A];

Quando o fator de serviço do motor for igual ou maior que 115% ou motores com elevação de temperatura admissível de 40 °C, o fator de correção será de 1,25. Casos diferentes do citado admitem um valor de k igual a 1,15.

O segundo fator determinante na escolha do relé de sobrecarga é a corrente elétrica suportada nos terminais, que não deve ser menor que a corrente nominal de proteção (disjuntores, fusíveis e outros dispositivos). Portanto, a corrente suportada deve ser maior ou igual ao valor nominal do dispositivo de proteção, conforme a equação (7).

$$I_{Relé} \geq I_n \quad (7)$$

em que:

$I_{Relé}$: corrente de suportabilidade do relé [A]

I_n : corrente nominal do motor [A];

2.5.3 Contatores

Contatores são elementos que participam ativamente nos motores, de acordo com Moro (2014) os contatores são elementos capazes de interromper e conduzir corrente considerando as condições normais de funcionamento. Possui uma bobina que, com a sua energização, produz um campo magnético em sua parte estática que atrai a parte móvel para os contatos de condução. As bobinas possuem um intervalo de escolha da tensão de alimentação (CA ou CC), esse fator é determinante para a escolha do contator. A figura 4 ilustra um contator de potência CWB.

Figura 4: Contator de potência CWB da WEG



Fonte: WEG (2023)

Moro traz valores estimados de consumo e $\cos \phi$ de cada bobina, estes ficam entre 6,5 VA e 25 VA e o $\cos \phi$ aproximadamente de 0,3. A potência consumida por cada bobina é um fator importante para o dimensionamento do disjuntor de comando, que por sua vez, tem a função de proteger as bobinas, os elementos de sinalização e demais componentes utilizados no comando.

De acordo com WEG (2022) a escolha dos contatores é feita com base na corrente nominal do motor, a tensão nominal e o fator de serviço, dessa forma, o cálculo é similar ao critério da corrente suportada nos relés térmicos. A capacidade de corrente nos terminais do contator não deve ultrapassar o valor nominal do dispositivo de proteção, de acordo com a equação (8).

$$I_{Contator} \geq I_n \quad (8)$$

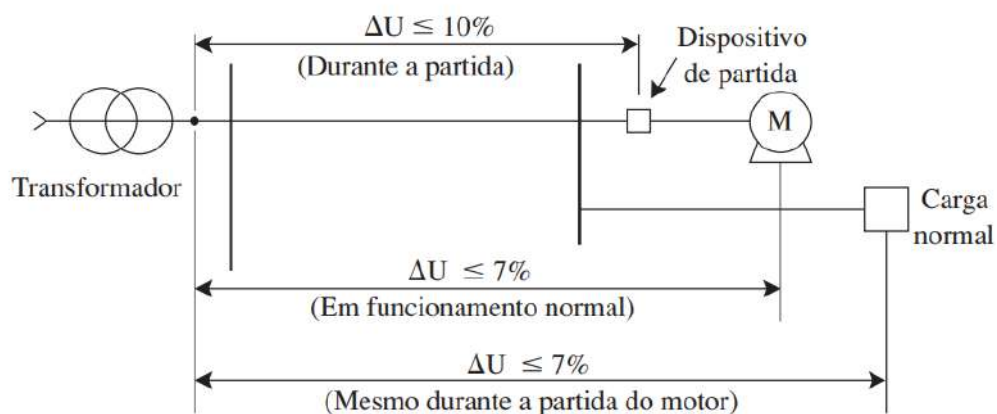
em que:

$I_{Contator}$: corrente de suportabilidade do contator [A]

I_n : corrente nominal do motor [A];

2.6 QUEDA DE TENSÃO PREVISTA NA PARTIDA DE MOTORES

A norma ABNT NBR 5410 estabelece que a queda de tensão máxima admissível nos terminais do dispositivo de partida é de 10% em relação à tensão nominal, sendo assim, os condutores podem admitir um valor maior da bitola em relação ao calculado em regime permanente. A figura 5 traz a representação gráfica das quedas de tensões e os locais onde elas se aplicam.



Fonte: Cotrim (2009)

Para o cálculo aproximado da queda de tensão percentual, Mamede (2017) propõe o uso da equação (9) que leva em consideração: a corrente de partida, o fator de potência com rotor bloqueado, a tensão de linha e os parâmetros do condutor utilizado. Em casos mais severos que necessitem de maior precisão, o equacionamento é feito pela associação de impedâncias desde o transformador até a carga.

$$\Delta V_c = \frac{\sqrt{3} \times I_c \times L_c \times (R \times \cos(\varphi) + X \times \sin(\varphi))}{10 \times N_{cp} \times V_{ff}} \quad (9)$$

sendo:

ΔV_c : percentual da queda de tensão no circuito trifásico;

I_c : corrente do circuito [A];

L_c : comprimento do circuito [m];

R : resistência de sequência positiva do condutor [$\frac{m\Omega}{m}$];

X : reatância de sequência positiva do condutor [$\frac{m\Omega}{m}$];

φ : ângulo do fator de potência da carga [graus];

N_{cp} : número de condutores em paralelo;

V_{ff} : tensão entre fases [V];

Caso o valor do fator de potência do motor com rotor bloqueado seja de difícil obtenção, a norma considera um valor de 0,3 para o cálculo da queda de tensão. Os valores médios da resistência e reatância são obtidos conforme figura 6, que considera a sequência positiva.

Os resultados obtidos do cálculo através da equação (9) são valores percentuais em relação à tensão nominal, devido a essa estimativa pode-se dimensionar os condutores da melhor forma possível tanto em regime permanente quanto na partida.

Figura 6: Valores médios de resistência e reatâncias (condutores PVC/70 °C)

Seção	Impedância de sequência positiva		Impedância de sequência zero	
	(mOhm/m)		(mOhm/m)	
	Resistência	Reatância	Resistência	Reatância
1,5	14,8137	0,1378	16,6137	2,9262
2,5	8,8882	0,1345	10,6882	2,8755
4	5,5518	0,1279	7,3552	2,8349
6	3,7035	0,1225	5,5035	2,8000
10	2,2221	0,1207	4,0222	2,7639
16	1,3899	0,1173	3,1890	2,7173
25	0,8891	0,1164	2,6891	2,6692

Fonte: Mamede (2017)

2.7 CONCEITOS DE COMANDOS ELÉTRICOS

Com os elementos de manobra e comando dimensionados, é necessário entender os conceitos fundamentais para a criação do projeto de comando. Dentre eles estão os conceitos do funcionamento de cada dispositivo, a representação visual e a significância dos números e letras. Vale ressaltar que o conhecimento de comandos elétricos é muito amplo e algumas simbologias não serão apresentadas.

2.7.1 Simbologia de comando

A simbologia dos elementos de comando são as regras básicas para o entendimento dos diagramas. Símbolos retratam um dispositivo elétrico de forma visual e propiciam a universalização nos projetos. A norma que participou da padronização dos símbolos foi a IEC 113.2, a descrição de cada símbolo e a representação visual pode ser observada na figura 7.

Os elementos da norma abrangem desde os dispositivos de proteção até as cargas (resistiva, indutiva e capacitiva).

Botoeiras, chaves seletoras e lâmpadas LED de sinalização são comuns nos painéis de comandos elétricos. As botoeiras e chaves participam na maioria das manobras dos contatores, a figura 8 e 9 mostra uma chave de duas posições e uma botoeira liga e desliga.

Figura 7: Simbologia gráfica

SÍMBOLO	DESCRIÇÃO	SÍMBOLO	DESCRIÇÃO
	Botoeira NA		Botoeira NF
	Botoeira NA com retorno por mola		Botoeira NF com retorno por mola
	Contatos tripolares NA, ex: contator de potência		Fusível
	Acionamento eletromagnético, ex: bobina do contator		Contato normalmente aberto (NA)
	Relé térmico		Contato normalmente fechado (NF)
	Disjuntor com elementos térmicos e magnéticos, proteção contra correntes de curto e sobrecarga		Acionamento temporizado na ligação
	Disjuntor com elemento magnético, proteção contra corrente de curto-circuito		Lâmpada / Sinalização
	Transformador trifásico		Motor Trifásico

Fonte: Henrique ([20–])

Figura 8: Botoeira liga e desliga



Fonte: Mattede ([20–])

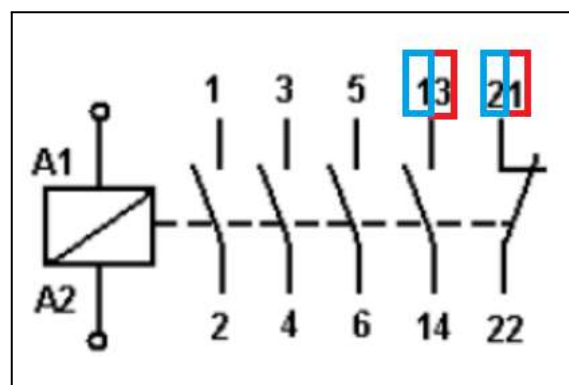
Figura 9: Chave de duas posições



Fonte: Addens ([20–])

Além das figuras que compõem os diagramas, os componentes possuem algumas numerações que auxiliam nas conexões e identificam o tipo de contato. Para exemplificar, a figura 10 representa a numeração de um contator de potência.

Figura 10: Representação de um contator



Fonte: Autoria própria

As numerações são diferentes para os terminais de força eletromotriz e comando, no qual os números 1, 3 e 5 são a entrada do circuito de força eletromotriz e os números 2, 4 e 6 são a parte terminal de força. Circuitos auxiliares também recebem uma numeração específica, sua parte em azul representa o número do contato. A cor em vermelho representa o

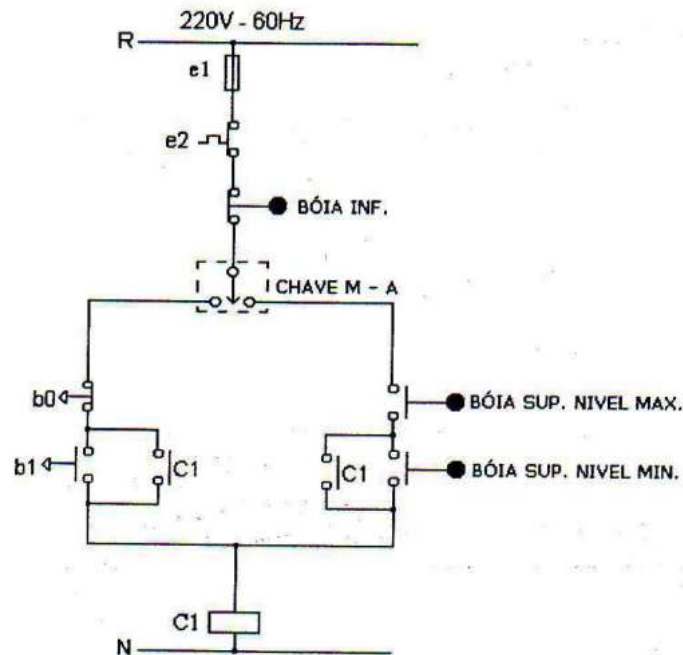
tipo do contato, ou seja, os contatos normalmente fechados tem os números 1 (entrada) e 2 (saída) e contatos normalmente abertos tem os números 3 para a entrada e 4 para a saída (HENRIQUE, [20–]). O contato normalmente aberto do relé térmico utiliza os números 97 (entrada) e 98 (saída), a parte normalmente fechada (NF) segue a numeração 95 e 96 para a entrada e saída, respectivamente. As letras A1 e A2 remetem à parte da alimentação da bobina. Outros componentes também recebem uma numeração específica, caso exista dúvida é importante verificar no manual do dispositivo ou em sua lateral.

2.7.2 O que são sistemas automáticos e manuais

Com o advento da automação industrial, as máquinas se tornaram cada vez mais autônomas e seu principal objetivo é reduzir o esforço humano para tarefas que exigem repetição (SIEMBRA, [20–]). Com a chegada dos relés e contadores no mercado, a complexidade da automação foi se intensificando cada vez mais. Paralelo a isso, sensores, atuadores e controladores foram se desenvolvendo possibilitando múltiplas aplicações industriais.

Em muitos circuitos de automação e comando, é comum dividir a parte automática da manual, no qual um pulso manual inicializa o comando automático, por exemplo. O segundo exemplo é a parte automática controlar os motores por meio das boias (EEEP, [20–]). “Quando acontece algum problema nas boias, utiliza-se na chave magnética a posição manual, pois nessa posição as boias de nível superior ficam fora de funcionamento. O funcionamento da chave nesse caso depende exclusivamente do operador” (EEEP, [20–], p. 124). Para entender melhor o funcionamento de ambas as partes, a figura 11 mostra um circuito simples de uma motobomba com um comando de duas boias .

Figura 11: Circuito de um reservatório de água



Fonte: EEEP ([20–])

Admitiu-se inicialmente que a chave está na posição automática e que não seja modificada até atingir a primeira iteração. Quando a água da cisterna passa pela boia de nível inferior, o contato é fechado e liga a motobomba. Conforme a água sobe e atinge seu nível máximo, os contatos das boias de nível superior são abertos e a motobomba é desligada. Como mencionado anteriormente, a função manual é utilizada caso uma das boias falhe, mas tem a mesma finalidade de ligar e desligar a motobomba quando a água atingir o nível máximo (EEEP, [20–]).

2.7.3 Princípio do revezamento automático de bombas

O revezamento automático é avaliado como necessário, quando existir uma bomba ativa e outra reserva. A ação deve promover o funcionamento equilibrado do número de horas de funcionamento, garantindo o desgaste linear dos motores e a maximização da vida útil da máquina. Há interesse em retirar do rodízio, a bomba que apresentar defeito em seu funcionamento (CAGECE, 2010).

Para explicar o princípio da alternância de bombas é necessária uma lógica de memória. Seja um sinal aplicado em um circuito, no qual a sua saída modifique conforme a entrada, e posteriormente, o sinal seja removido. Na hipótese da saída retornar a sua originalidade, trata-se de um circuito sem memória (DANTAS, 2007).

Com o objetivo de armazenar o estado inicial, existem dispositivos que possuem a funcionalidade de memorizar, como é o caso do flip-flop ou também técnicas de circuitos elétricos que armazenam informações atuais. “As informações armazenadas na memória podem ser: qual motor está ativo, qual o sentido de rotação da máquina e qual a última ação realizada por um determinado dispositivo” (informação verbal)³, esses casos são vistos em controladores lógicos programáveis.

É possível armazenar essas informações também nos contadores auxiliares, na qual cada contador representa um tipo de informação binária (ligado ou desligado). Na lógica CLP, o armazenamento apenas necessitaria de um contato de memória, que teria a mesma função de um contador auxiliar.

³ Informação fornecida pelo Prof. Dr. Agnelo Marotta Cassula durante uma aula de automação industrial, em Guaratinguetá, em 10 junho 2022.

3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

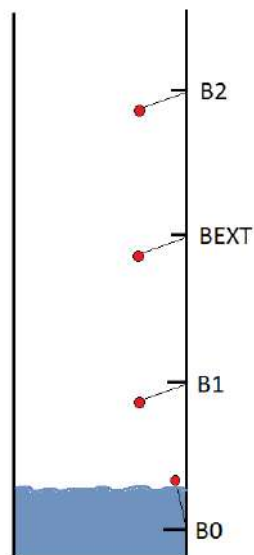
O objetivo do projeto é a construção de um sistema de drenagem, que une a parte prática e teórica. O CADE SIMU (2020) auxiliará no desenvolvimento do comando elétrico, esse software simula o funcionamento dos motores e a lógica dos elementos de comando (boias, chaves, contadores, relé de sobrecarga e lâmpadas de sinalização). Assim, a ferramenta ajuda na criação do projeto e a visualizar possíveis falhas no funcionamento.

Pretende-se buscar uma boa coordenação entre os dispositivos de proteção e comando, garantindo o correto funcionamento e a hierarquia dos componentes. O sistema deve garantir a permanência dos motores em razão das condições adversas.

3.1 DISPOSIÇÃO DAS BOIAS

Os níveis do poço são classificados de acordo com a altura e disposição das boias, com isso, cada sensor possui um papel fundamental na atuação. A figura 12 ilustra a sequência das boias considerando o nível b0 e b2, a menor e maior altura, respectivamente.

Figura 12: Disposição das boias



Fonte: Produção do próprio autor

As infiltrações ocorrem de acordo com o sentido físico da água, ou seja, do menor nível para o maior. À medida que o lençol freático se movimenta, o fluxo de água pode ser intenso ou de menor intensidade.

Considerando o projeto em funcionamento normal, admitiu-se que uma bomba é suficiente para drenar toda água. Quando o fluxo de água é baixo, as boias b0 e b1 trabalham ligando e desligando um dos motores principais. Caso o fluxo seja muito grande, uma bomba não será suficiente para retirar a água, logo, a bext (boia de extravasão) é acionada pela elevação do líquido, que por sua vez, liga o motor complementar. A última boia liga o motor 3, todavia, é preciso que algum problema exista para que seja acionado, esse problema pode ser o fato de uma das boias inferiores (b1 e b2) apresentar algum defeito e não acionar ou a presença de sobrecarga em uma das bombas principais.

3.2 DIMENSIONAMENTOS

Para os cálculos das seções transversais dos condutores, disjuntores, relés de sobrecarga e contadores utiliza-se os valores referentes a figura 13, Famac (2022). O projeto contempla três bombas idênticas de dreno (duas bombas principais e uma auxiliar), trifásicas, 220 V e 2 cv de potência.

Figura 13: Bomba submersível escolhida

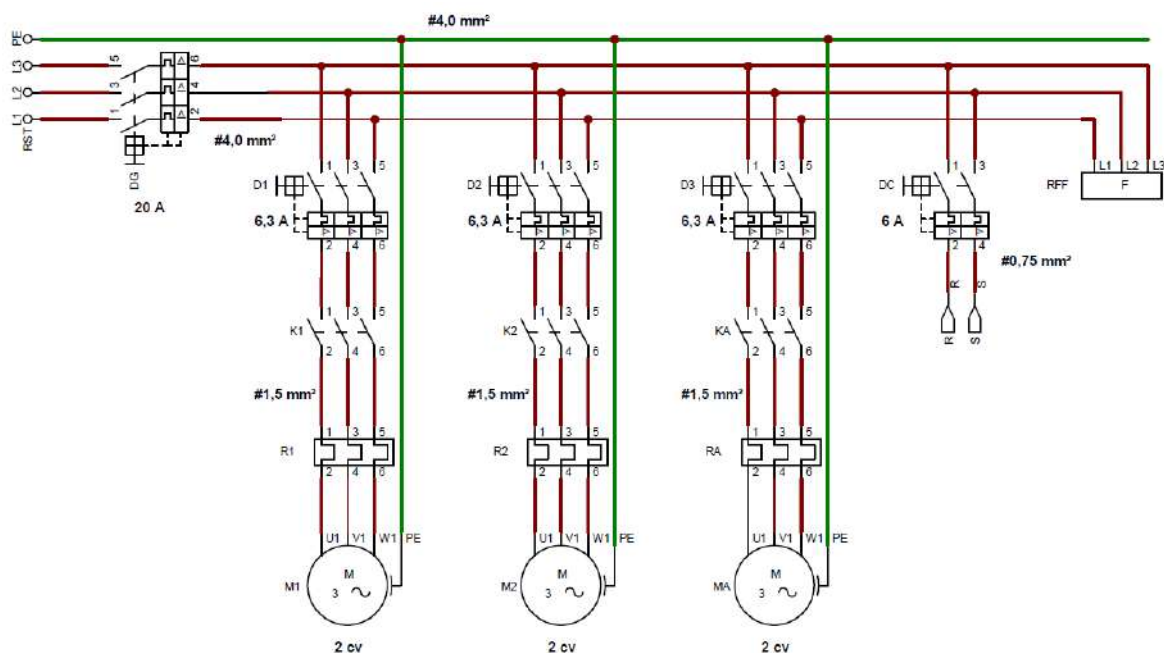
Modelo	60Hz															
	Diâmetro do rotor	Potência		Fases	Velocidade	Tensão / Voltagem	Corrente / Amperagem		Fator de Serviço	Fator de Potência	Capacitor / Condensador		Rendimento motor	Tipo de Arranque	Cabo de energia	
		Nominal	P1 Max				Máximo	Arranque / Partida			Condutor	Comprimento				
mm	cv	kW	~	rpm	V	A	A	FS	cosφ	µF	Vc	h%		mm²	m	
FBS-NG 410SU	110	1,0	2,5	3~	3500	220	6,9	43,4	1,2	0,9	n.a.	n.a.	83,5	DOL	5 X 1,5	10
FBS-NG 410SU	110	1,0	2,5	3~	3500	380	4,0	25,1	1,2	0,9	n.a.	n.a.	83,5	DOL	5 X 1,5	10
FBS-NG 410SU	110	1,0	2,5	3~	3500	440	3,5	21,7	1,2	0,9	n.a.	n.a.	83,5	DOL	5 X 1,5	10
FBS-NG 500	120	2,0	3,0	3~	3500	220	8,6	70,3	1,2	0,9	n.a.	n.a.	85,0	DOL	4 X 1,5	10
FBS-NG 500	120	2,0	3,0	3~	3500	380	5,0	40,7	1,2	0,9	n.a.	n.a.	85,0	DOL	4 X 1,5	10
FBS-NG 500	120	2,0	3,0	3~	3500	440	4,3	35,1	1,2	0,9	n.a.	n.a.	85,0	DOL	4 X 1,5	10
FBS-NG 500SU	120	2,0	3,0	3~	3500	220	8,6	70,3	1,2	0,9	n.a.	n.a.	85,0	DOL	5 X 1,5	10

Fonte: FAMAC (2022)

O dimensionamento completo do quadro leva em consideração os disjuntores de proteção, condutores, relés térmicos e contatores. O circuito de força eletromotriz é constituído por um disjuntor geral, um disjuntor para cada bomba e um disjuntor de comando. Existe para cada motor, um contator de potência e seu respectivo relé térmico.

Os cabos que constituem o sistema de força são: cabo central (saem do disjuntor geral e derivam para os disjuntores próprios), cabos dos ramais (são os cabos que ligam os disjuntores d1, d2 e d3 aos motores) e os condutores de proteção, conforme a figura 14. Uma observação pertinente é a simbologia dos disjuntores, como o software CADE SIMU (2020) não possui disjuntores com proteção estritamente magnética, o esquemático será apenas uma representação do dispositivo.

Figura 14: Circuito de força eletromotriz



Fonte: Produção do próprio autor

3.2.1 Dimensionamento dos cabos do disjuntor geral

O projeto considera apenas o cálculo do disjuntor geral e a jusante, ou seja, admite-se que a tensão que alimenta o dg (disjuntor geral) é de 220 volts, trifásico. Os condutores que alimentam os disjuntores d1, d2, d3 e dc são dimensionados pelo método da capacidade de

corrente, uma vez que os trechos entre o dg e os demais disjuntores são pequenos. Nos ramais que alimentam os motores, tanto o método da capacidade de corrente quanto o método da queda de tensão devem ser aplicados, para assim, assegurar que o sistema seja projetado da melhor forma possível. Com isso, o método que compreender a maior seção transversal será o escolhido.

Utilizando as equações (1) e (2) :

$$I_{ni} = \frac{2 \times 736}{\sqrt{3} \times 220 \times 0,9 \times 0,85}$$

$$I_{ni} = 5,0496 \text{ A}$$

$$I_{alm} \geq \sum_{i=1}^3 1,2 \times 5,0496$$

$$I_{alm} \geq 18,178 \text{ A}$$

Utilizando a tabela de capacidade de condução de corrente, a seção mínima para a corrente requisitada pelos motores é de 2,5 mm², levando em consideração: o método de referência B2, três condutores carregados, temperatura no condutor de 70 °C e isolamento PVC.

De acordo com o catálogo do fabricante, a corrente máxima do motor pode chegar a 8,6 A, logo, para assegurar que o condutor não sofra nenhum dano pelo efeito de sobreaquecimento utilizou-se uma seção transversal acima. Por conseguinte, a escolha do condutor fase será de 3x4mm² (preto) com capacidade de condução de corrente de 27 A, considerando o método de referência B2, com material de PVC de 70 °C. O condutor de proteção também será de 4 mm² (verde) com base na norma ABNT - NBR 5410.

3.2.2 Dimensionamento dos ramais

A jusante do disjuntor geral estão os condutores que ligam os disjuntores d1, d2 e d3 aos motores, esse trecho é considerado curto, mas é necessário a avaliação pelo método da

queda de tensão. Aplicando as equações (3) e (4) encontram-se as correntes nominais nos ramais.

Para a equação (4) :

$$I_{rm} \geq 1,2 \times 5,0496$$

$$I_{rm} \geq 6,05628 \text{ A}$$

Para a equação (5) :

$$S = \frac{\sqrt{3} \times 1,2 \times 5,0496 \times 8}{56 \times 220 \times 0,01}$$

$$S = 0,6815 \text{ mm}^2$$

O condutor que atende os critérios será o 3x1,5 mm² (preto) pelo método de referência B2, com capacidade de condução de 15 A, material de PVC e temperatura no condutor de 70 °C. O condutor de proteção será de 1x1,5 mm² (verde) com isolação de PVC e temperatura no condutor de 70 °C. Vale ressaltar que os cabos que ligam os disjuntores aos motores são ofertados pelo fabricante da bomba por ser um cabo especial para submersão.

É interessante avaliar também a queda de tensão percentual em relação ao motor e comparar com o valor estabelecido pela norma. A queda de tensão percentual em regime permanente utiliza a equação (9).

Aplicando a equação (9):

$$\Delta V_c = \frac{\sqrt{3} \times 8,6 \times 8,0 \times (14,8137 \times \cos(\arccos(0,9)) + 0,1378 \times \sin(\arccos(0,9)))}{10 \times 1 \times 220}$$

$$\Delta V_c = 0,7254\%$$

Como o valor determinado está muito abaixo de 2%, o dimensionamento para o regime permanente está correto, contudo, há a necessidade de avaliar também para o regime de partida.

O último condutor a ser dimensionado é o de comando, que leva em consideração a corrente no circuito de comando. A potência aparente em cada bobina é de 25 VA e somada com a potência das lâmpadas LEDs de aproximadamente 5 VA, a potência total será de 280 VA (10 contadores e 6 lâmpadas LEDs). Com o auxílio da corrente nominal de aproximadamente 1,27 A em 220 V, o condutor escolhido tem seção transversal de 0,75 mm² com capacidade de condução de 11 A, utilizando o método de referência B2 com dois condutores carregados e material PVC de 70 °C.

3.2.3 Cálculo da queda de tensão durante a partida

Neste caso específico, em que o dimensionamento é apenas do sistema de manobra e comando, a queda de tensão na partida não influenciará no dimensionamento dos condutores, mas promove o acréscimo de informação de maneira quantitativa. Com os valores de sequência positiva do condutor de 1,5 mm², a distância do acionamento até o motor, o valor da corrente durante a partida e a tensão nominal é possível calcular a queda de tensão na partida utilizando a equação (9). A Farmac (2022) não disponibiliza o fator de potência durante a partida, por consequência, o valor do $\cos \varphi$ pode ser aproximado de 0,3 para efeitos de cálculo.

Aplicando a equação (9):

$$\Delta V_c = \frac{\sqrt{3} \times 70,3 \times 8,0 \times (8,882 \times \cos(\arccos(0,3)) + 0,1345 \times \sin(\arccos(0,3)))}{10 \times 1 \times 220}$$

$$\Delta V_c = 1,2374\%$$

A tensão de referência na entrada do dg é de aproximadamente 220 V, sendo assim, a tensão nos terminais do motor é de aproximadamente 1,24 % menor durante o regime de partida, esse valor é considerado relativamente baixo em comparação aos motores maiores.

3.2.4 Disjuntores motores, contadores e relés-térmicos

Este projeto utiliza disjuntores motores para a proteção excepcionalmente contra curto-circuito, levando em consideração a corrente de rotor bloqueado e a corrente de 12 vezes a nominal máxima, o disjuntor escolhido deve compreender um valor intermediário da corrente de disparo magnético instantâneo. Aplicando a equação (5) obtém-se os intervalos para a escolha do disjuntor motor.

Disjuntores dos ramais:

$$70,3 \leq I_{DM} \leq 12 \times 8,6$$

$$70,3 \text{ A} \leq I_{DM} \leq 103,2 \text{ A}$$

Disjuntor geral:

$$70,3 \times 3 \leq I_{DM} \leq 3 \times 12 \times 8,6$$

$$210,9 \text{ A} \leq I_{DM} \leq 309,6 \text{ A}$$

O disjuntor que melhor atende a proteção dos ramais é o MPW12i-3-D063S da WEG, com disparo magnético instantâneo de 82 A e corrente nominal de 6,3 A. A proteção do circuito geral utiliza o disjuntor motor MPW40i-3-U020, com disparo magnético instantâneo de 260 A e corrente nominal de 20 A.

Considerando a corrente do comando aproximada nos condutores em 220 V, a escolha do disjuntor de comando que possui o valor nominal mais próximo é de 6 A.

O dimensionamento dos contadores de potência depende dos disjuntores que os protegem, a corrente nominal dos disjuntores que alimentam os contatos de potência é de 6,3 A, ou seja, o valor mínimo da corrente suportada pelos contadores de potência deve ser maior ou igual a 6,3 A. De acordo com o catálogo da WEG, o contator que possui a característica mais próxima é o CWB9-11-30 de 9 A, 220 V.

Os relés de sobrecarga seguem a mesma lógica para o cálculo, os barramentos possuem uma corrente máxima suportada que garantem a preservação do componente. Assim,

considerando as correntes nominais previamente estabelecidas nos condutores, o ajuste dos relés térmicos é calculado para motores com fator de serviço maior ou igual a 115%, conforme a equação (6).

$$I_R = 1,25 \times 5,0496$$

$$I_R = 6,312 \text{ A}$$

Utilizando o critério da máxima corrente suportada nos terminais do relé de sobrecarga, encontra-se o valor mínimo de corrente que o relé deve suportar, conforme a equação (7).

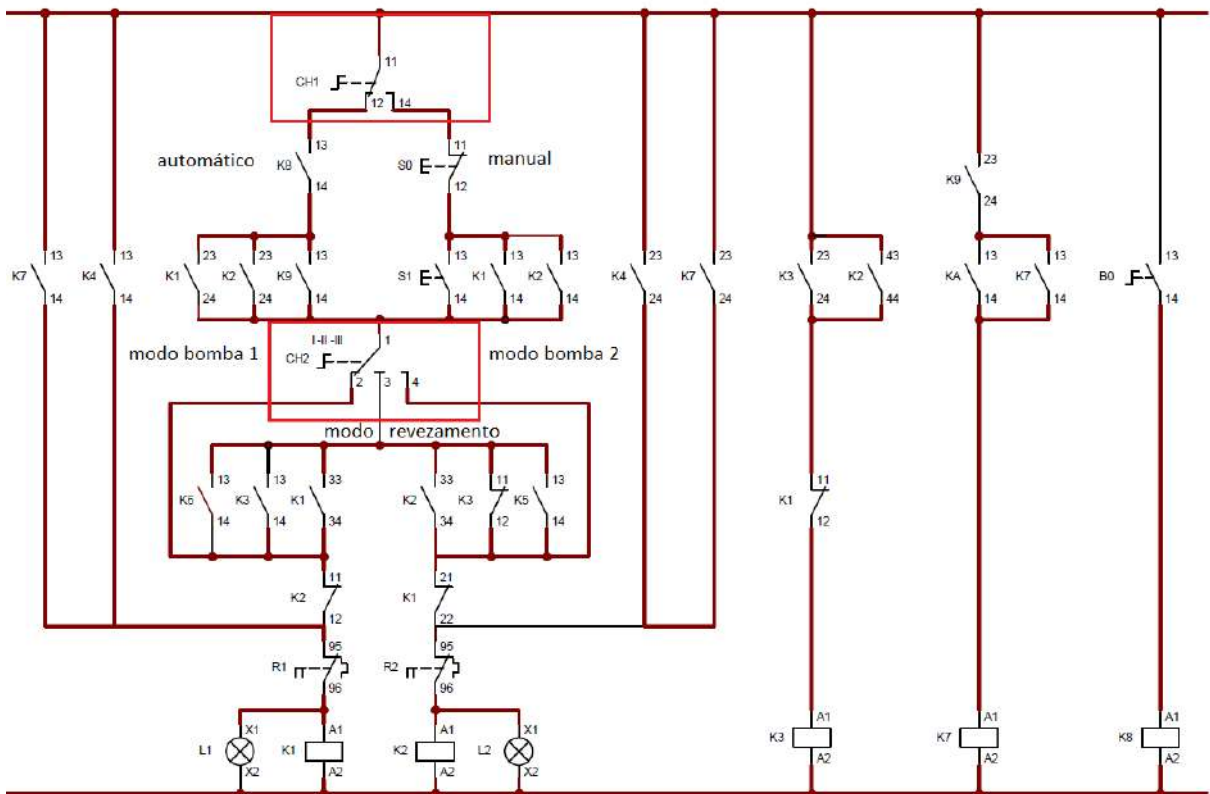
$$I_{Relé} \geq 6,3 \text{ A}$$

Logo, a faixa de ajuste do relé de sobrecarga será de 4 a 6,3 A, o relé de sobrecarga que compreende os valores do ajuste de corrente é o RW17-1D3-D063 fornecido pelo catálogo da WEG. O fabricante dispõe também a corrente máxima do dispositivo de proteção, que não deve ser maior que 16 A, portanto, o valor está de acordo com o esperado.

3.3 PRINCÍPIO DO REVEZAMENTO

Com o objetivo de entender o funcionamento completo do circuito de comando, o esquemático é separado consonante as finalidades (automático, manual e modos) e os casos particulares do sistema. A chave ch1 possui duas posições que isolam a função automática da manual, a segunda chave ch2 possui três posições: bomba 1, revezamento e bomba 2. A figura 15 propõe um recorte do diagrama de comando considerando as duas chaves seletoras.

Figura 15: Localização das chaves seletoras



Fonte: Produção do próprio autor

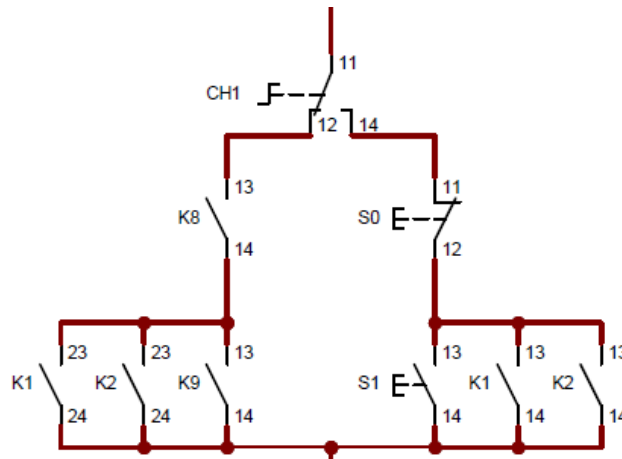
Por meio da chave ch2 são escolhidos os modos de atuação, em que: o modo bomba 1 liga apenas o primeiro motor, o modo revezamento faz a alternância dos motores e o modo bomba 2 liga apenas o motor 2. A posição de maior destaque é o revezamento automático (ch1 no terminal 12 e ch2 no terminal 3), que possui maior autonomia e preserva a vida útil das máquinas principais, por consequência, é a posição de maior estudo para a proteção e continuidade do sistema.

3.3.1 Sistema automático e manual

Este circuito possui duas posições que estão isoladas por uma chave seletora ch1, conforme a figura 16. A parte esquerda do circuito que compreende os contatos normalmente abertos k8 e k9 é classificada como automática, pois, são ativados automaticamente pelas boias b0 e b1, respectivamente. O circuito da parte direita é caracterizado como manual

devido a necessidade de um operador pressionar o botão s1 para ligar ou pressionar o botão s0 para desligar.

Figura 16: Circuito automático e manual



Fonte: Produção do próprio autor

Para ambos os modos de seleção (automático e manual), apenas as bombas principais m1 e m2 são controladas. Este sistema de comando opera em sua maior parte em funcionamento normal, ou seja, o intervalo de trabalho ocorre entre as boias b0 e b1. No modo automático, a boia b0 não liga o motor 1 ou 2 de forma direta, é necessário que a superfície do líquido atinja um nível acima (sensor b1) para assim acioná-lo. De forma similar, o motor não desliga imediatamente quando a boia b1 é desativada, o líquido precisa se deslocar até a posição imediatamente abaixo de b0 para desligá-lo. A razão para essa configuração é a proteção das bombas contra o número excessivo de acionamentos, que provocam superaquecimento dos condutores e redução da vida útil das bombas.

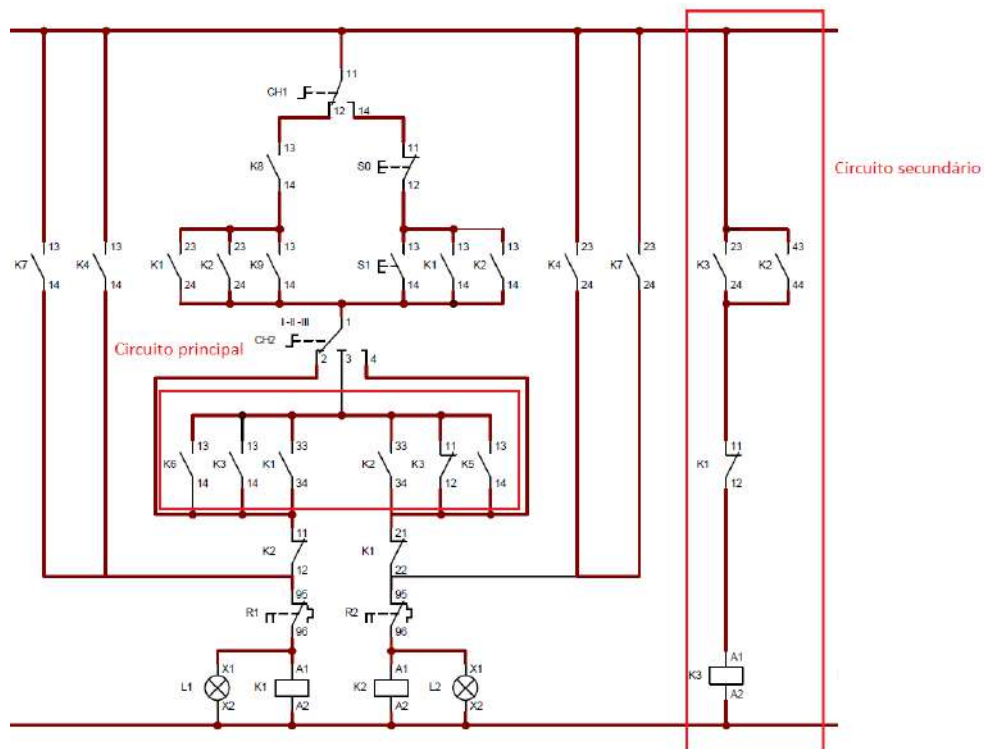
Existem algumas particularidades no modo manual que diferem da posição automática, quando o nível da água estiver abaixo de b0 ainda é possível ligar a bomba, sendo assim, o sistema manual é parcialmente independente dos níveis. Um segundo ponto importante é que a bomba na posição manual, só pode ser desligada pelo operário, logo, existe a possibilidade do operário queimar uma das bombas principais caso permaneça ligada. Contudo, caso o operador esqueça a chave na posição manual por um longo período de tempo, a boia de extravasão protegerá ligando as bombas principais.

Algumas sugestões para a proteção do motor no modo manual são: a chave seletora ch1 deve conter uma trava para impedir que comute para manual sem a necessidade, inserir uma boia bmin (boia de nível mínimo) com um contato normalmente aberto em série com o botão s0. Com a inserção da boia bmin, o sistema manual só será habilitado quando o volume mínimo de água sobre a bomba for suficiente.

3.3.2 Sistema revezamento de bombas

Projetos que trabalham com mais de uma bomba têm predileção pela alternância nos motores, pois preservam as máquinas a longo prazo. A lógica da alternância de saídas fundamenta-se em memórias ou, nesse caso específico, um contator auxiliar. O contator em questão deve armazenar o estado em que o motor se encontra, motor 1 ou motor 2 e assim utilizá-lo para uma finalidade particular. Esse circuito é dividido em duas partes: circuito principal que liga os motores e o circuito secundário (circuito de memória), a figura 17 traz o circuito de revezamento do projeto.

Figura 17: Sistema de revezamento



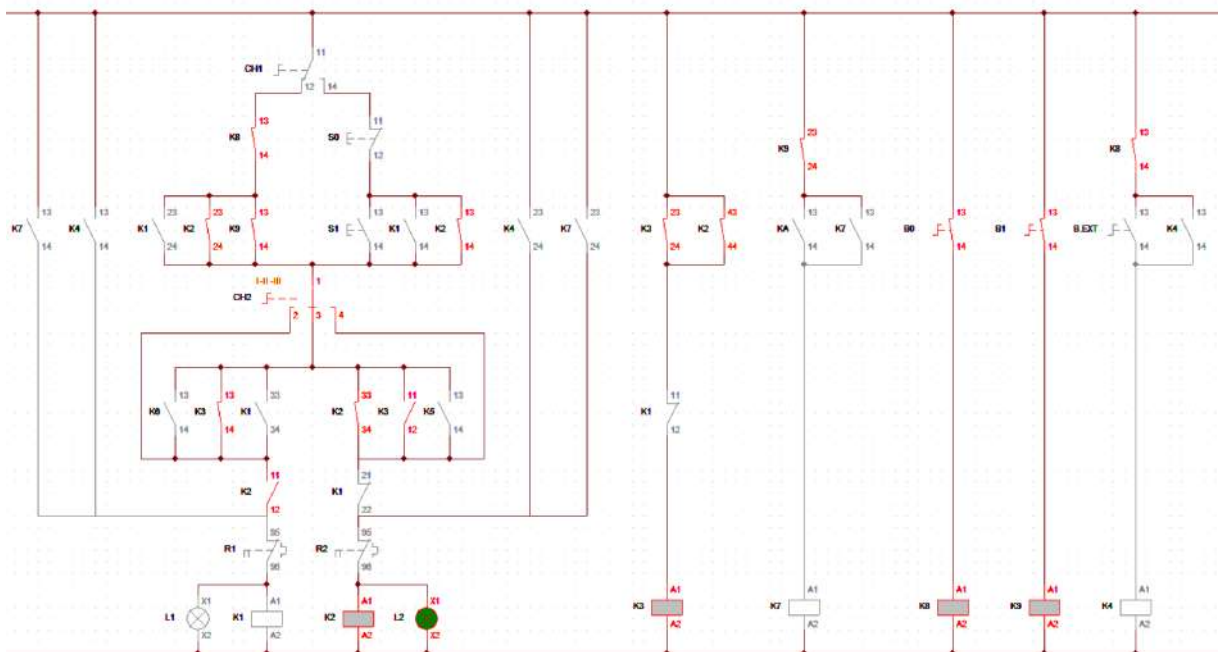
Fonte: Produção do próprio autor

Quando a chave ch2 está na posição de revezamento (pontos 1 e 3 conectados), a alternância das bombas se habilita. O contator responsável por armazenar o estado das bombas principais é o k3, isso é facilmente observado pela associação lógica do circuito secundário com destaque em vermelho. As lógicas possíveis são: o contator k3 ligado ou desligado, com isso, os motores principais não podem ligar ao mesmo tempo nos níveis 0 ou 1 e também não podem revezar nos níveis superiores da extravasão ou no nível 2. Outra forma de pensar na lógica do revezamento é o contator k3 armazenar o valor do contator k1 ou k2.

Para que o k3 armazene a informação do acionamento das bombas é necessário que uma delas inicie primeiro, neste caso particular, o motor 2 ligará primeiro pela razão de k3 ser normalmente fechado (circuito principal), dessa forma, quando o motor 2 for desligado, o próximo motor a ser acionado será o de número 1. As figuras 18, 19, 20 e 21 demonstram o princípio de funcionamento do sistema de revezamento.

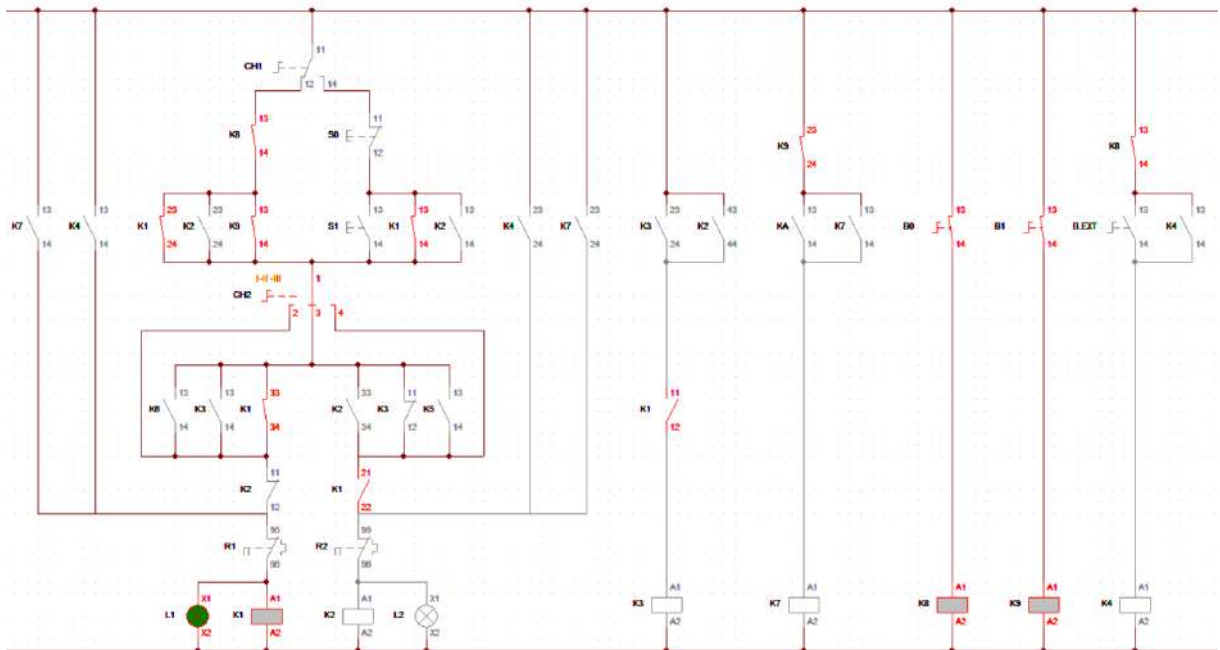
Na figura 18, com o circuito previamente desligado, o contator k3 liga a bomba 2 e imediatamente depois o contato nf (normalmente fechado) de k3 é aberto, mas o que faz o motor permanecer ligado é o selo de k2 no circuito principal, o qual foi comutado na energização da bobina de k2. Durante o funcionamento do motor 2, o contator k3 ficará ligado até o momento que a bomba 1 entrar em funcionamento.

Figura 18: Motor 2 em funcionamento



Fonte: Produção do próprio autor

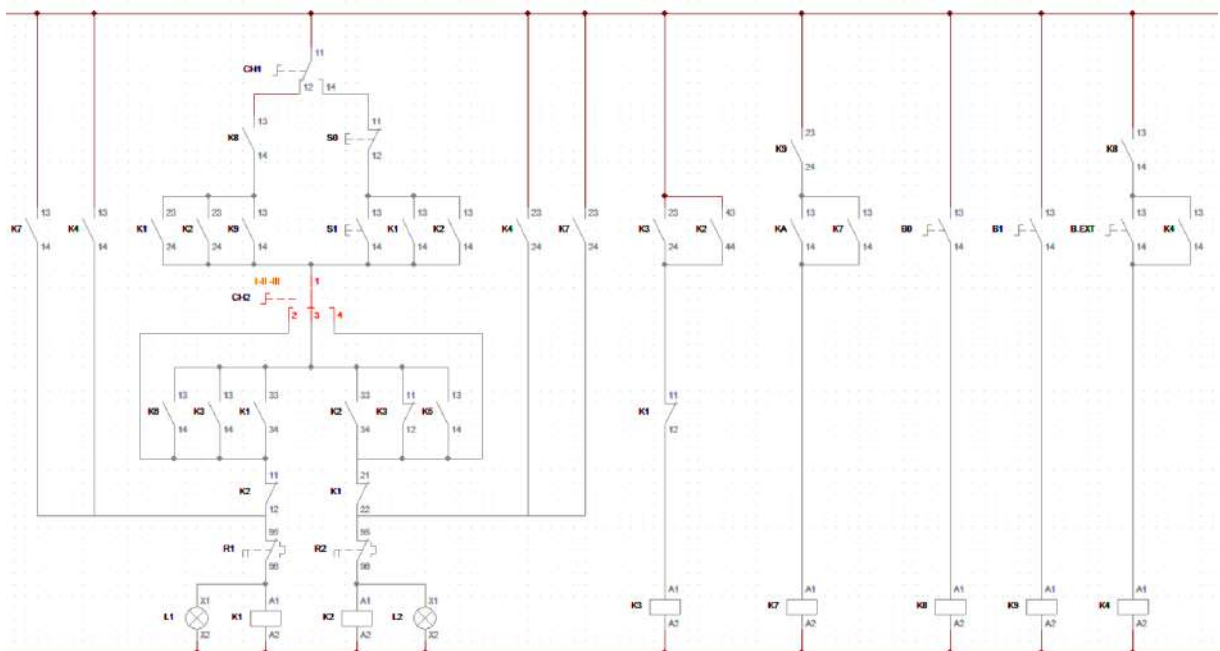
Figura 20: Motor 1 em funcionamento.



Fonte: Produção do próprio autor

A figura 21 é o momento anterior a figura 18 em que a bomba 2 ligará na próxima chamada das boias, esse é o estado inicial quando as boias estão desativadas e o circuito de memória está resetado.

Figura 21: Circuito inicial.



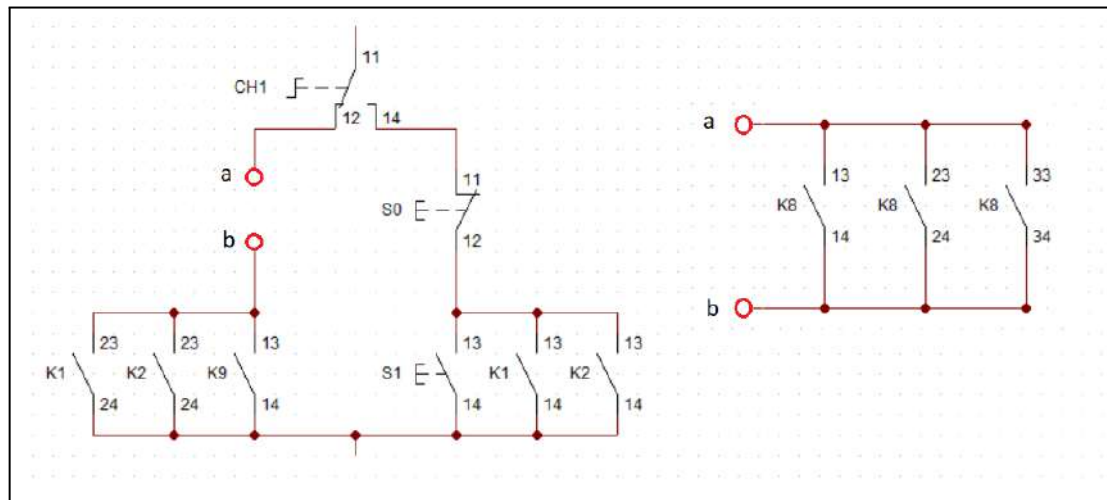
Fonte: Produção do próprio autor

3.4 REDUNDÂNCIA DE BOIA INFERIOR

A fim de garantir maior segurança às condições adversas como: a queima de um sensor de nível inferior ou mal funcionamento da boia, optou-se por utilizar redundância na boia b0. Admitindo que o circuito esteja na posição automática e independentemente da posição do modo, a boia b0 tem a função mais importante do sistema automático, em que habilita a ligação dos motores e desliga quando atinge o nível 0. A figura 22 mostra a disposição do sensor com a redundância aplicada.

Utilizando os pontos a e b como referência para a redundância, o rompimento do cabo nas regiões internas (do primeiro nó de cima ao número 13 e do segundo nó de baixo ao 14) não compromete o funcionamento normal da boia b0.

Figura 22: Redundância da boia b0.



Fonte: Produção do próprio autor

Existe a possibilidade de inserir redundância na boia b1, isso também resultaria na redução de falhas no acionamento dos motores. Com isso, conclui-se que colocar redundância no sistema significa reduzir a probabilidade de falhas, em contrapartida, há um aumento no custo pela inserção de redundância.

3.5 PARTICULARIDADES DO SISTEMA

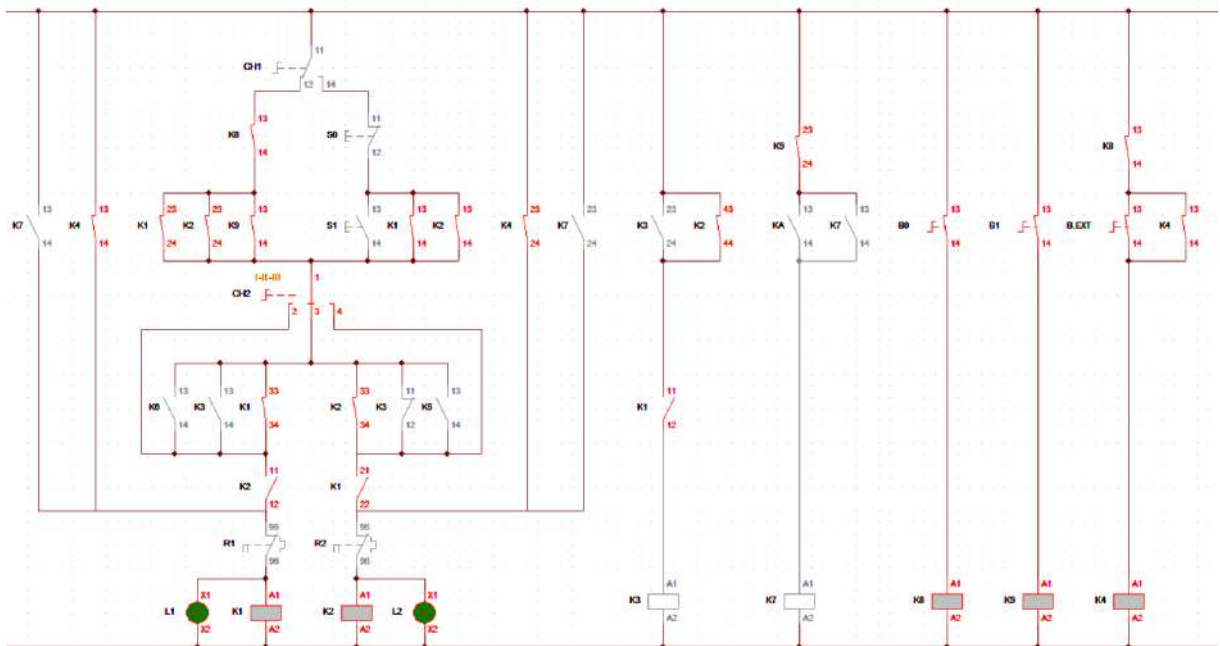
Particularidades são momentos exclusivos e previsíveis que podem ocorrer durante o funcionamento do sistema. Estão incluídas as proteções contra a falha dos sensores, a sobrecarga durante o revezamento dos motores e os níveis críticos acima da boia b1. Em projetos de sistemas que são considerados críticos, a continuidade do funcionamento é obrigatória apesar das adversidades.

3.5.1 Atuação da boia de extravasão

Extravasão é considerado um nível acima da boia de nível inferior b1, na qual as duas bombas principais devem atuar para prevenir que a água atinja o nível b2. Existem duas possibilidades para o líquido atingir a superfície de extravasão, a primeira delas é a bomba 1 ou 2 não ser suficiente para diminuir a nível da água, ou seja, o fluxo resultante tem direção ascendente, com intensidade elevada. No primeiro caso, quando a água alcançar o nível de extravasão, a bomba principal que ainda não foi ativada entra para complementar a mesma. O segundo caso é a ativação da extravasão pela falha de b1, neste caso, o motor principal permanece desligado com líquido elevando. Após um determinado instante de tempo, o líquido comutará a boia de extravasão e os motores m1 e m2 ligarão simultaneamente.

Considerando o sentido físico da água, as boias ligam de forma sequencial, isto é, a água passa por b0, b1 e bext, respectivamente. Conforme mencionado anteriormente, ao atingir o nível de extravasão as duas bombas são ligadas ou a bomba complementar, conforme a figura 23.

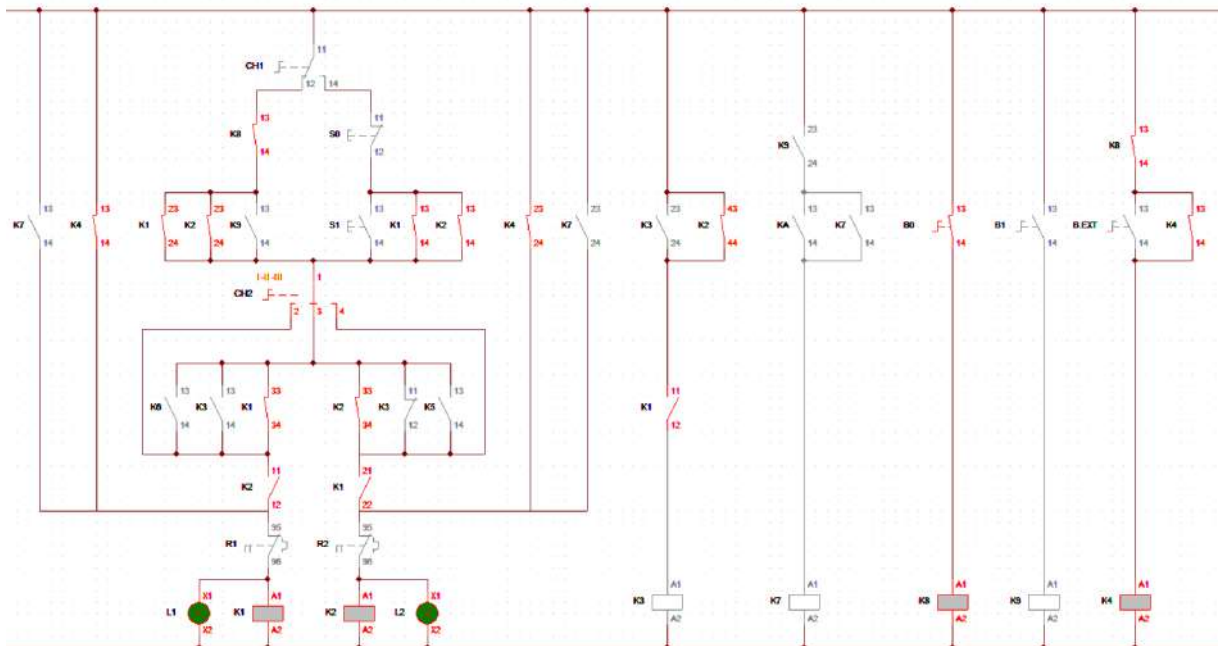
Figura 23: Ativação da boia de extravasão na subida



Fonte: Produção do próprio autor

Com as duas bombas em funcionamento normal, o líquido resultante das infiltrações diminui em conformidade com o tempo. O sentido de descida do líquido na extravasão é sempre com as duas bombas ligadas, considerando que não exista nenhuma atuação do relé de sobrecarga ou disjuntor. Há um intervalo de parada em que as bombas são desenergizadas e a extravasão é desligada, a figura 24 demonstra o princípio de funcionamento na descida do fluido.

Figura 24: Desativação da extravasão na descida



Fonte: Produção do próprio autor

Por meio da figura 24, torna-se evidente que as boias bext e b1 não desligam os motores quando são desativadas e que apenas a boia b0 tem essa funcionalidade.

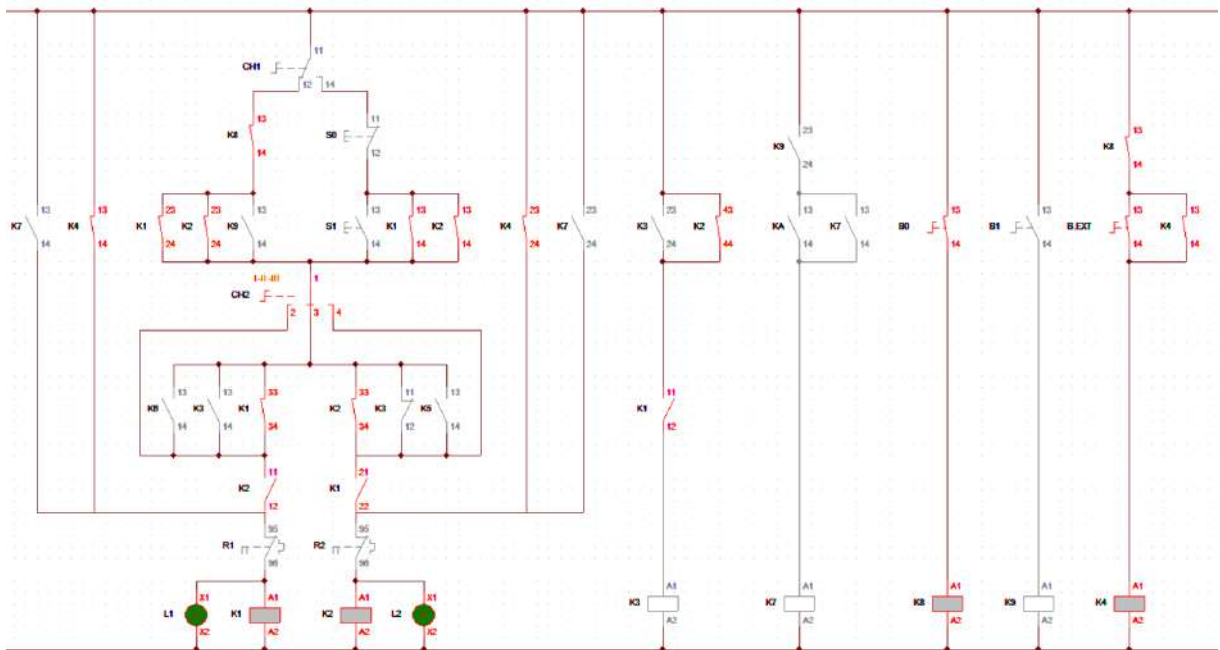
3.5.2 Proteção contra falhas de boias

Falhas e defeitos estão presentes em circuitos eletroeletrônicos, assim como defeitos de natureza mecânica. Contatores, disjuntores e diversos componentes de comutação possuem um número máximo de manobras em um certo intervalo de tempo, por exemplo. Existe também a possibilidade de um sensor não atuar conforme o esperado, isso é um ponto importante para o projeto de automação industrial.

Conforme mencionado, as boias b0 e b1 funcionam de forma dependente, ou seja, qualquer uma delas não funcionando de forma correta, comprometem a comutação dos motores principais. Mediante a estas informações, as proteções devem abranger as falhas das boias principais b0 e b1, garantindo a continuidade dos motores 1 e 2.

A primeira falha a se considerar é a boia b1 não comutar, conforme a figura 25.

Figura 25: Falha da boia b1 durante a subida

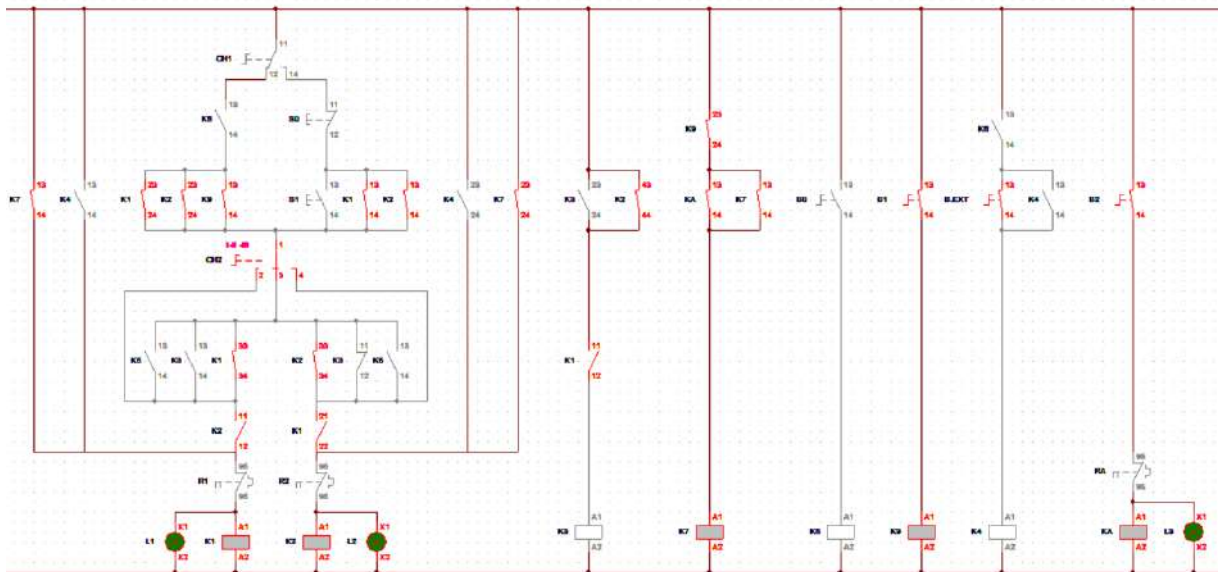


Fonte: Produção do próprio autor

Essa falha foi solucionada com a inserção da boia de extravasão, que ao passar por b0 considerando o seu funcionamento normal, liga simultaneamente os motores pela boia de extravasão. No sentido de descida do líquido, as duas bombas ficam ligadas até alcançar a boia b0 no qual desativa ambas.

A próxima situação é a boia b0 comprometida, essa é a situação mais crítica do sistema, pois considera que apesar de possuir redundância dupla ou tripla a boia b0 não ativa. Para a proteção da falha de nível 0 adicionou o contator k7, que liga as bombas principais quando a água atinge o nível 4 (boia 2), de acordo com a figura 26.

Figura 26: Falha da boia b0 durante a subida



Fonte: Produção do próprio autor

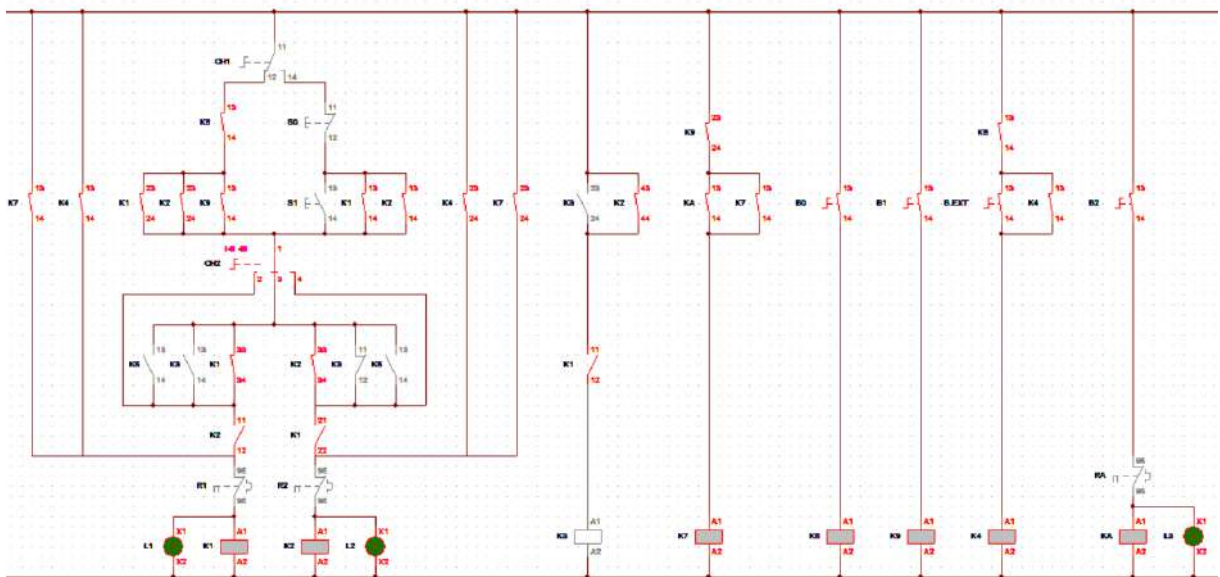
É pertinente ressaltar que o contator ka (motor 3) é quem liga o contator k7, ou seja, nesse instante os três motores ligarão simultaneamente. Outro ponto relevante é o sentido de atuação na descida, o motor auxiliar desliga no momento em que b2 for abaixada e os motores principais quando atingem o nível 1.

3.5.3 Atuação da boia b2 no nível 4

O motor 3 serve de retaguarda para intempéries no sistema. Para afiançar que a drenagem ocorra, esse motor está isolado internamente no comando por uma boia de nível crítico b2. Como a extravasão liga de forma automática e bloqueia a interação do operador com o sistema, o nível 4 também exige a mesma regra. O sentido de subida e descida do motor 3 é igual para qualquer caso, isto significa que, o motor desliga imediatamente após a descida da boia, vale ressaltar que as bombas principais neste instante de tempo estão ligadas. A causalidade da escolha de b3 não funcionar com as boias de nível inferior, propõe uma independência de m3 (motor 3) com o sistema no geral.

Considerando a abordagem mais teórica do comando, admitindo que o funcionamento normal do sistema consegue atingir o nível 4, o motor m3 funcionará apenas com a comutação de ka (contator auxiliar de m3) pela boia b2. A figura 27 ilustra o motor 3 ligando com a ativação de b2.

Figura 27: Ativação do motor 3 pela boia b2



Fonte: Produção do próprio autor

Como visto anteriormente, o contator ka tem a função de proteger o sistema caso a boia b0 não funcione corretamente. A bomba 3 funciona como uma bomba reserva até que ocorra a troca ou reparo das bombas principais.

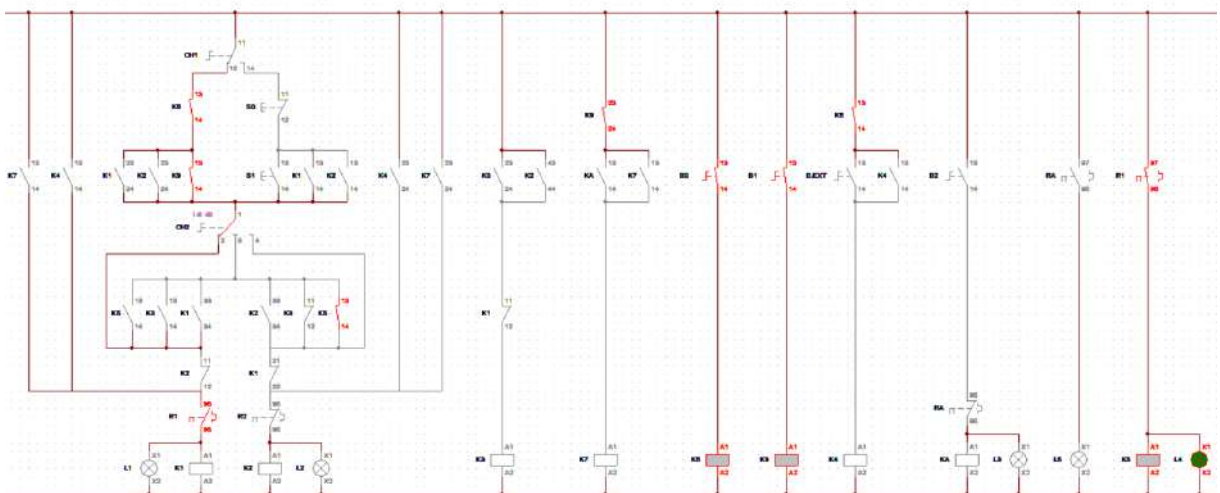
3.5.4 Atuação do relé térmico no modo bomba 1 ou bomba 2

A sobrecarga no modo bomba 1 desliga o motor 1 pelo relé térmico R1, desse modo, uma lâmpada de sobrecarga L4 acende e permanece ligada até que ocorra o seu rearme. Para o religamento do motor é preciso reativar o relé pressionando o botão de rearme e

posteriormente a lâmpada L4 desligará. A figura 28 mostra o relé R1 aberto e a lâmpada L4 acesa pelos contatos normalmente abertos do relé.

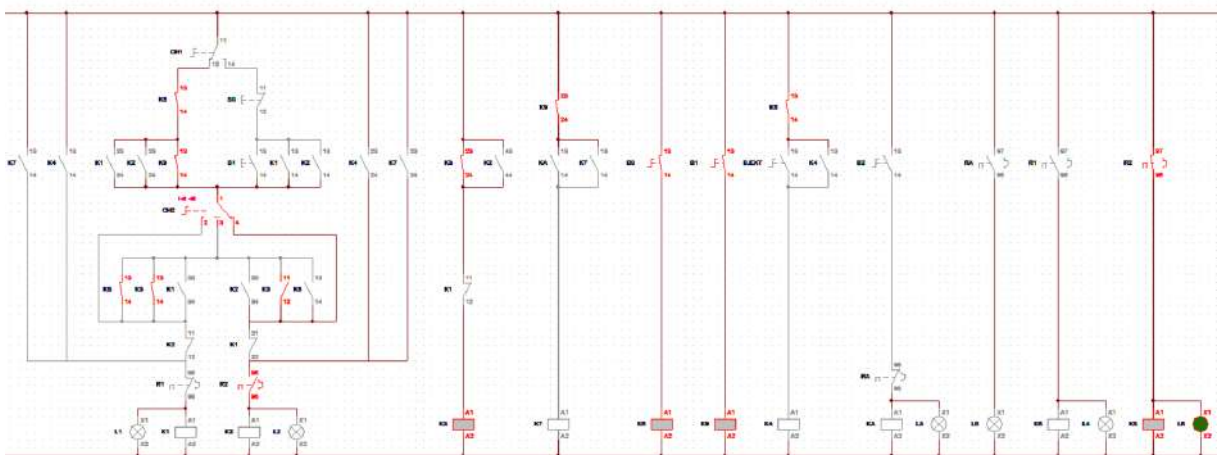
Seguindo a mesma linha de raciocínio do modo bomba 1, a sobrecarga do motor 2 no modo bomba 2 tem a comutação do relé R2, que por sua vez, interrompe o funcionamento da bomba 2 e liga a lâmpada L5 de sinalização de sobrecarga. A figura 29 propõe a simulação do relé R2.

Figura 28: Modo bomba 1 com a primeira bomba em sobrecarga



Fonte: Produção do próprio autor

Figura 29: Modo bomba 2 com a segunda bomba em sobrecarga

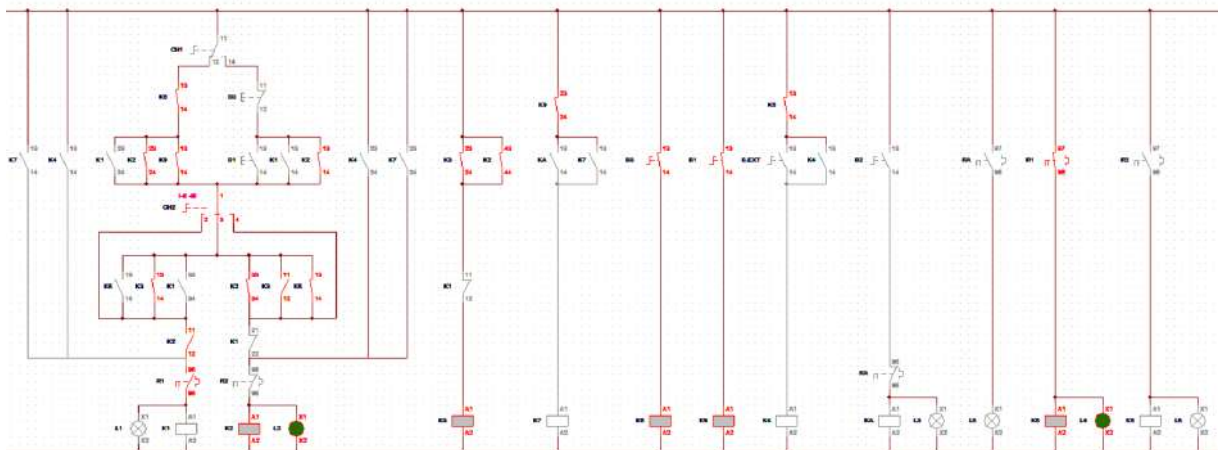


Fonte: Produção do próprio autor

3.5.5 Atuação do relé térmico no revezamento

Com a atuação de um dos relés de sobrecarga R1 ou R2 no modo revezamento, o motor que estava em funcionamento é desligado e ativa a lâmpada correspondente. No modo revezamento automático, em que considera o trabalho alternado das bombas principais, existe a necessidade da permanência dos motores no sistema. Para garantir a continuidade dos motores, os relés atuam na sobrecarga e também ligam o motor principal adjacente por meio de um contator auxiliar, isso permite que o relé não interrompa o revezamento. Outro ponto importante é a reutilização das boias b0 e b1 quando um motor está sobrecarregado, ou seja, os motores ainda utilizarão as mesmas funcionalidades de liga e desliga do sistema, ademais, isso assegura que as bombas não fiquem ligadas de forma permanente. A figura 30 mostra o motor m1 em sobrecarga e a lâmpada de sinalização L4 ativa, mas com o motor 2 já comutado pelo contator auxiliar k5.

Figura 30: Modo revezamento com a bomba 1 em sobrecarga

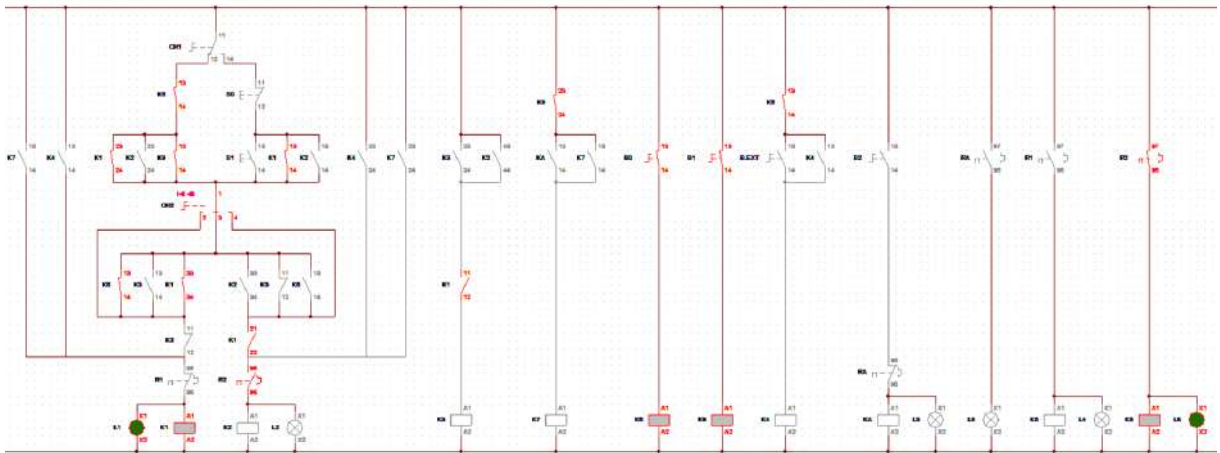


Fonte: Produção do próprio autor

A razão para utilizar os contadores auxiliares k5 e k6 nos relés é explicada de acordo com o número máximo de contatos e terminais. Ao passo que a necessidade de contatos aumenta, um contator é indispensável para isolar o circuito e promover a mesma função que os contatos do relé. Da mesma forma que o raciocínio anterior, quando a bomba 2 entrar em

regime de sobrecarga, o motor 2 desliga, a lâmpada L5 liga e o motor 1 inicia a sua partida. A figura 31 ilustra o funcionamento descrito.

Figura 31: Modo revezamento com a bomba 2 em sobrecarga



Fonte: Produção do próprio autor

As demais situações não apresentadas no sistema seguem a mesma lógica. Quando o motor atingir a extravasão e o relé R1 atuar durante o funcionamento, por exemplo, a bomba 1 desliga e a bomba 2 permanece ativada. O segundo caso não descrito seria no modo revezamento manual, em que a comutação das bombas feitas pelos relés R1 e R2 não ocorrem de forma automática, é preciso pressionar a botoeira s1. Caso a última bomba entre em sobrecarga, o relé R3 desliga apenas a bomba 3 e indica a ação por meio da lâmpada L3.

3.6 APLICAÇÃO DO PROJETO EM CLP

De forma a demonstrar a aplicabilidade do projeto em outro dispositivo de comando e manobra, o CLP é uma boa forma de mostrar que o projeto funciona com outras lógicas. Como o foco do projeto é a aplicação em circuitos de contadores, a abordagem do assunto será de maneira sucinta.

Aproveitando a construção teórica do projeto de comando e aplicando a lógica ladder do CLP, obtém-se um projeto fiel às funcionalidades originais. A primeira tarefa é classificar as entradas e saídas para o sistema com o CLP s7-200 da SIEMENS. As entradas têm o endereço lógico i0.0 a i1.4, no qual são utilizadas como: chaves de pulso para a parte manual, interruptores para as boias e os sinais dos relés. As saídas utilizam a simbologia lógica q0.0 a q1.0, essas acionam os equipamentos (motores, lâmpadas e contadores). Por último, as memórias participam ativamente do circuito como entrada imaginárias, ou seja, são como relés auxiliares.

No projeto do sistema de operações críticas, a organização das entradas, saídas e memórias são classificadas de acordo com a figura 32. Apenas os motores e lâmpadas são saídas, diferentemente do comando que necessita de um contador para cada finalidade, isto significa que o CLP necessita de apenas três contadores de potência para o projeto.

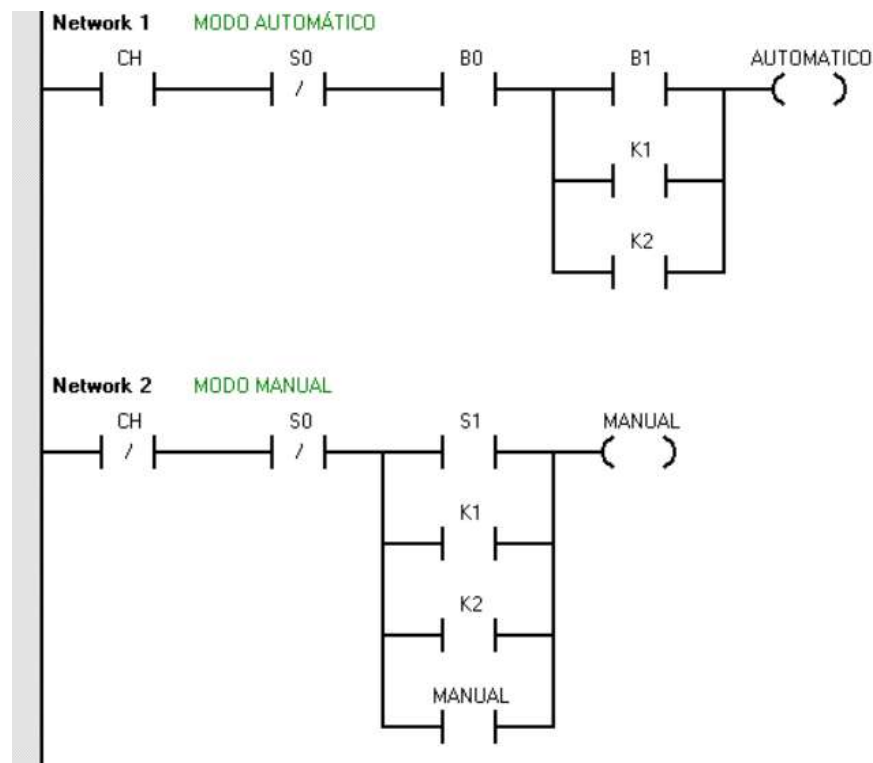
Figura 32: Tabela de entradas e saídas

Símbolo	Endereço	comentários
S1	I0.0	BOTÃO DE PARTIDA
S0	I0.1	CHAVE GERAL DE PARADA
B0	I0.2	BOIA DE NÍVEL 0
B1	I0.3	BOIA DE NÍVEL 1
BEXT	I0.4	BOIA DE EXTRAVASÃO
B2	I0.5	BOIA DE NÍVEL 4
FR1	I0.6	RELÉ DE SOBRECARGA DE M1
FR2	I0.7	RELÉ DE SOBRECARGA DE M2
CH	I1.0	CHAVE AUTOMÁTICO/MANUAL
CH1	I1.1	MODO BOMBA 1
CH2	I1.2	MODO REVEZAMENTO
CH3	I1.3	MODO BOMBA 2
FR3	I1.4	RELÉ DE SOBRECARGA DE M3
AUTOMÁTICO	M0.0	MODO AUTOMÁTICO
MANUAL	M0.1	MODO MANUAL
K4	M0.2	MEMÓRIA DA EXTRAVASÃO
K7	M0.4	MEMÓRIA DA BOMBA 3
K3	M0.5	MEMÓRIA
K1	Q0.0	MOTOR 1
K2	Q0.1	MOTOR 2
KA	Q0.2	MOTOR 3
L1	Q0.4	LÂMPADA DE SOBRECARGA DE M1
L2	Q0.5	LÂMPADA DE SOBRECARGA DE M2
L3	Q0.6	LÂMPADA DE SOBRECARGA DE M3

Fonte: Produção do próprio autor

Quando se refere ao sistema automático e manual do CLP, a chave ch faz a seleção dos modos. Uma chave s0 é colocada para interromper o sistema por completo e promover um reset. A parte de ativação dos motores é idêntica ao projeto de comando, com isso, utiliza a mesma nomenclatura, como: b0, b1, s1, k1 e k2. Contudo, no modo manual é necessário um selo da memória manual para que não desligue, visto que s1 é pulsante. A figura 33 mostra o diagrama ladder do modo automático e manual. Portanto, no início da simulação, o modo manual encontra-se selecionado, basta pressionar o botão s1 para que a memória manual sele. No instante em que a memória está selada, ambos os motores não ligam, é preciso selecionar um dos modos pelas chaves ch1, ch2 e ch3. Para habilitar a função automática, a chave ch precisa ser comutada, assim, a parte manual é desabilitada e a chave ch automática é fechada.

Figura 33: Sistema automático e manual do CLP



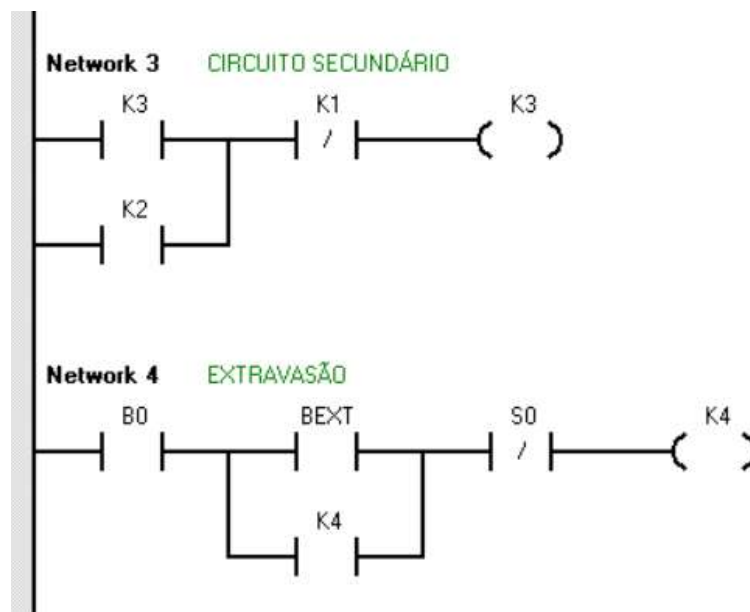
Fonte: Produção do próprio autor

O circuito secundário do diagrama ladder é o mesmo do projeto de comando, que faz a lógica da alternância dos motores principais. O CLP não necessita de contatores auxiliares,

por conseguinte, a memória k3 terá a função de armazenar a informação de qual bomba foi acionada.

Há a adição apenas da chave de parada s0 na extravasão, conforme a figura 34. A extravasão liga quando atinge a boia de extravasão e desliga quando o líquido atinge a boia inferior b0. A memória k4 tem a função de ligar os dois motores principais e selar o circuito.

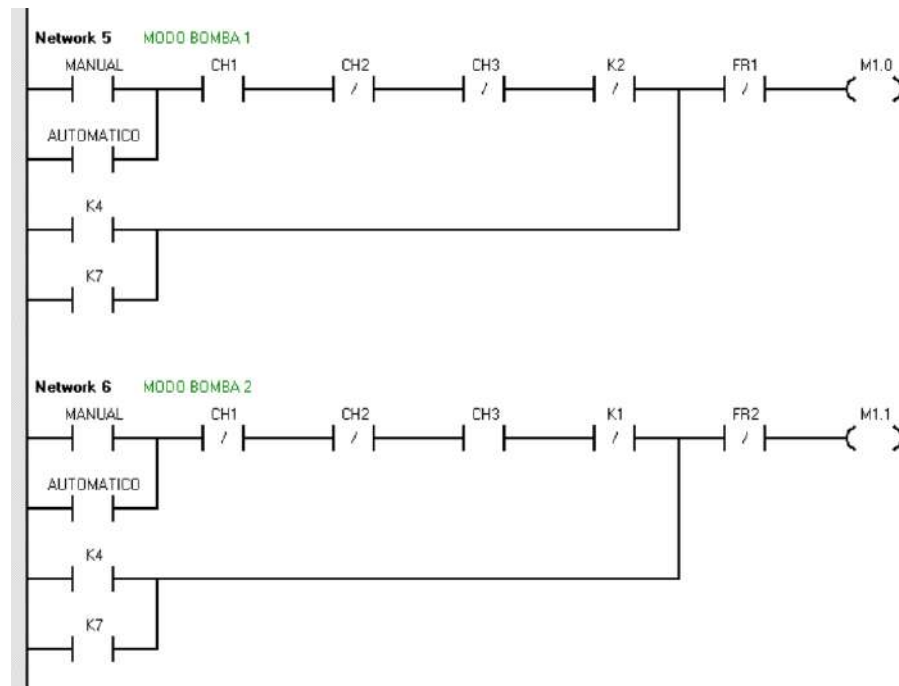
Figura 34: Diagrama ladder do circuito secundário e extravasão



Fonte: Produção do próprio autor

O modo bomba 1 e bomba 2 recebem o contato manual e automático, pois existem ambas as possibilidades. Quando a chave ch1 é ligada, o modo bomba 1 é selecionado, que aguarda o sinal manual ou automático para a ativação da memória m1.0. Análogo à situação anterior, o modo bomba 2 é ligado pela chave ch3. Um ponto relevante é a inexistência da possibilidade de dois modos ligarem simultaneamente, pois, o intertravamento das chaves ch1, ch2 e ch3 desligam todo o circuito caso selecione ch1 e ch2 simultaneamente, por exemplo. A boia bext (boia de extravasão) liga os dois motores principais por meio de k4 e invalida o sistema automático e manual. Na condição do líquido atingir a boia b2, a saída ka liga a memória k7, que parte os dois motores caso não tenham ligado na extravasão. A figura 35 dispõe o esquemático do modo bomba 1 e 2.

Figura 35: Diagrama do modo bomba 1 e 2

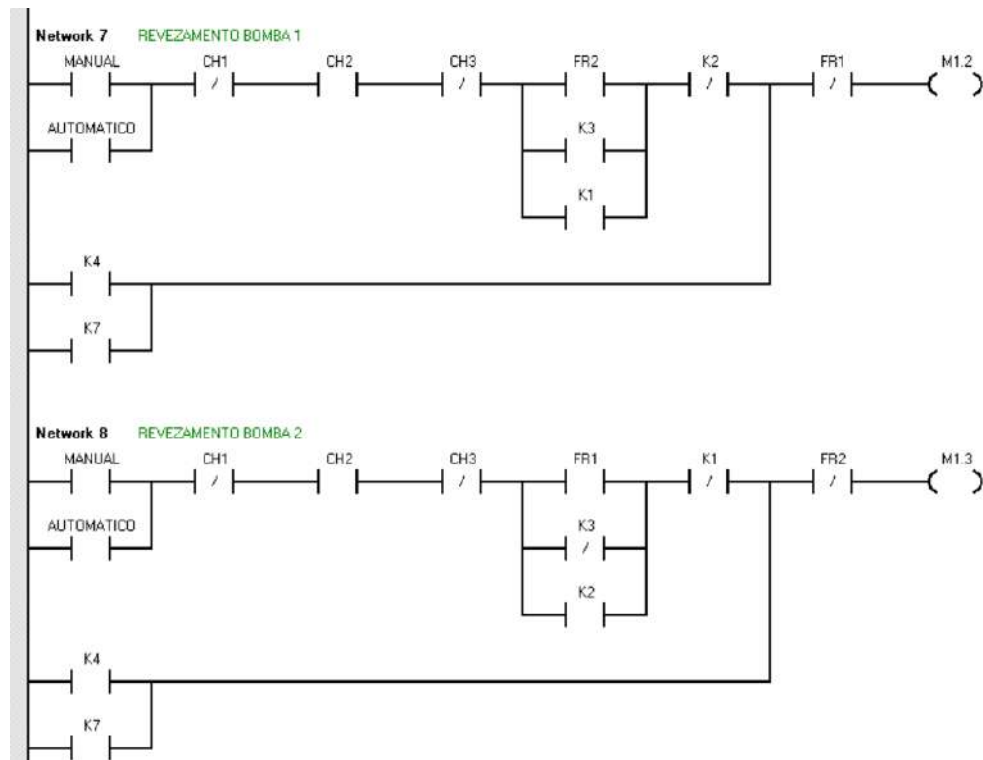


Fonte: Produção do próprio autor

O revezamento compreende a parte manual e automática do circuito. A chave ch2 seleciona o modo revezamento e habilita as memórias m1.2 e m1.3, todavia, quem liga a os motores é a memória de revezamento k3. No projeto original de comando os relés de sobrecarga ligam a bomba adjacente, no CLP também será ativado por meio das entradas fr1 e fr2. As funcionalidades da extravasão, da bomba 3 e da interrupção dos motores pelos relés foram colocadas de acordo com a figura 36. Com a extravasão ou a bomba 3 ligada, o operador não consegue desligar nenhum dos motores ativos, as saídas k1 e k2 inativam as memórias manual e automática.

A bomba 3 é isolada dos demais motores, ela é acionada por meio de uma boia b2 e desligada pela chave geral s0. A proteção do nível 0 é garantida na *network* 10, que liga o contator k7 quando o nível passa através da boia b1 e atinge a última boia b2. As *networks* 11 e 12 são as saídas para os motores 1 e 2, essa passagem é necessária para garantir que o CLP entenda qual saída foi acionada, para isso, as memórias têm a função de não repetir os nomes das saídas k1 e k2. As memórias m1.0 e m1.2 acionam o primeiro motor e as memórias m1.1 e 1.3 acionam o segundo motor.

Figura 36: Diagrama de revezamento das bombas principais

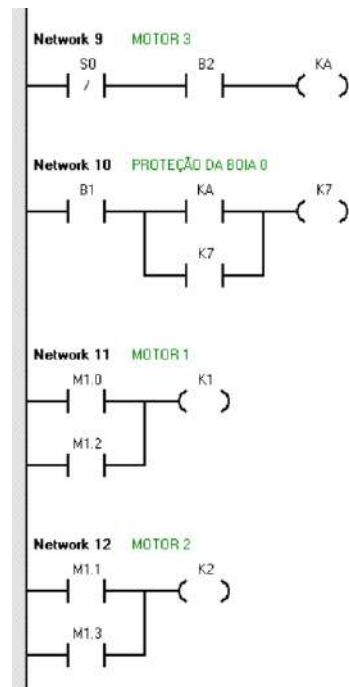


Fonte: Produção do próprio autor

Utilizando as boas práticas de projeto, as boias recebem selo das memórias, porém, não existe a necessidade de colocar por ser de origem interruptora. A figura 37 ilustra o diagrama das saídas e as lógicas do motor 3. A proteção de nível 0 na *network* 10 tem configuração diferente na descida, ou seja, quando o líquido atinge b2, o sentido de desligamento da memória k7 é no nível da boia b1. Isso não é visto na proteção de nível 1, em que o desligamento ocorre na boia b0 (circuito da extravasão).

Os CLPs possuem entradas que simulam os relés térmicos, que por meio de um sensor térmico, desliga o motor ou contator com defeito. Entretanto, a proteção física do relé de sobrecarga é indispensável, pois, o contato físico possui menor taxa de erros. Outro problema relevante nos CLPs são os bugs temporários no software durante a compilação.

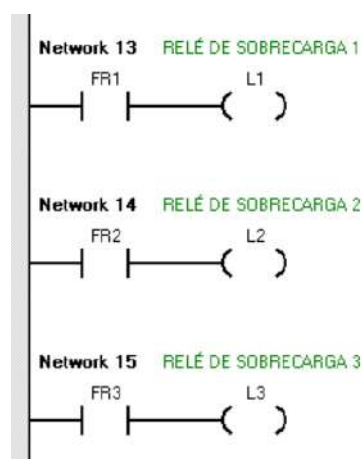
Figura 37: Diagrama ladder das saídas e proteção de nível



Fonte: Produção do próprio autor

As entradas FR1, FR2 e FR3 acionam suas respectivas lâmpadas de sobrecarga, a figura 38 mostra como ficou o diagrama ladder.

Figura 38: Diagrama das lâmpadas de sinalização



Fonte: Produção do próprio autor

3.7 TABELA DE CUSTOS

Considerando a quantidade de itens utilizados no painel de comando e não incluindo o preço da mão de obra, o valor total estimado é de R\$ 3082,19 de acordo com a figura 32. Caso existisse a necessidade de calcular o preço total do projeto, os itens adicionais que devem constar no cálculo são: o valor da mão de obra, o preço total das três bombas submersas, o valor das 4 ou mais boias e os cabos adicionais para a conexão das boias. A figura 39 também faz uma comparação do projeto de drenagem no CLP, no qual é comentado na seção 3.7. O custo da montagem e manutenção do CLP é maior, dessa forma, é interessante sua utilização apenas quando a aplicação admite muitas mudanças no projeto.

Figura 39: Tabela comparativa de custos (10/11/2022)

Projeto de drenagem com contadores				
NOME	DESCRIÇÃO	CUSTO POR UNIDADE [R\$]	QUANTIDADE	TOTAL [R\$]
MPW12i-3-D063S	Disjuntor do ramal	261,00	3	783,00
MPW40i-3-U020	Disjuntor geral	280,00	1	280,00
C6 JNG	Disjuntor de comando	28,00	1	280,00
RW17-1D3-D063	Relé térmico	140,90	3	140,90
CWB9-11-30	Contadores de potência	124,99	3	374,97
JZC4-13	Contadores auxiliares	60,00	7	420,00
Cabo flexível 4mm², 25m (Preto)	Cabos de alimentação do dg	85,22	1	85,22
Cabo flexível 1,5mm², 25m (Preto)	Cabos de alimentação dos ramais	30,00	1	30,00
Cabo flexível 0,75mm², 50m (vermelho)	Cabos de comando	40,20	1	40,20
Barramento 4 mm² (Verde)	Barramento de proteção	10,00	1	10,00
Painel 50X40X20	Painel de comando	248,00	1	248,00
Itens adicionais	Canaletas, terminais, Lâmpadas de sinalização e demais	200,00	1	200,00
RM22TG20 - Schneider	Relé falta de fase/sequência de fase	189,90	1	189,90
SOMA	-	-	-	3082,19
Projeto de drenagem com CLP				
NOME	DESCRIÇÃO	CUSTO POR UNIDADE [R\$]	QUANTIDADE	TOTAL [R\$]
MPW12i-3-D063S	Disjuntor do ramal	261,00	3	783,00
MPW40i-3-U020	Disjuntor geral	280,00	1	280,00
RW17-1D3-D063	Relé térmico	140,90	3	140,90
CWB9-11-30	Contadores de potência	124,99	3	374,97
CLP S7-200	CPU 224, saída a relé 2 A	3000,00	1	3400,00
Cabo flexível 4mm², 25m (Preto)	Cabos de alimentação do dg	85,22	1	85,22
Cabo flexível 1,5mm², 25m (Preto)	Cabos de alimentação dos ramais	30,00	1	30,00
Cabo flexível 0,75mm², 50m (vermelho)	Cabos de comando	40,20	1	40,20
Barramento 4 mm² (Verde)	Barramento de proteção	10,00	1	10,00
Painel 50X40X20	Painel de comando	248,00	1	248,00
Itens adicionais	Proteção do CLP, Lâmpadas de sinalização, canaleta e demais	200,00	1	200,00
SOMA	-	-	-	5592,29

Fonte: Produção do próprio autor

4 CONCLUSÃO

O sistema de manobra e comando provou-se eficiente em razão das adversidades impostas, que aliadas às boas práticas de projeto e dimensionamento, promoveu maior coordenação entre os dispositivos de proteção e as boias de nível. A adição da redundância nos sensores de nível inferior e do motor 3 no sistema possibilitou maior proteção e garantiu a permanência das funcionalidades no sistema. Com o circuito de revezamento das bombas submersas obteve-se um melhor aproveitamento das máquinas e um desgaste mais linear entre elas. Outra consideração a ser feita é a inserção da extravasão no circuito, isso possibilitou as bombas trabalharem de forma simultânea e acelerou a drenagem dos líquidos em condições críticas de extremo fluxo.

Em relação ao custo final do painel, a estimativa trouxe fidelidade aos valores atuais e serve de comparação para outros sistemas de drenagem subterrânea, como o CLP (controlador lógico programável). No caso da escolha de motores com potências diferentes de 2 cv, a estrutura do comando se mantém a mesma, com pequenas adaptações na parte de força. Há também a possibilidade de expansão do projeto, com a inserção de uma chave *bypass* na bomba 3 para a comutação automática entre rede e gerador, caso exista uma queda de energia.

O dispositivo que pode realizar essa tarefa é o relé falta de fase, onde comuta seus contatos quando não há tensão trifásica na entrada dos bornes, desse modo, a troca entre rede e gerador pode ser feita de forma mais rápida.

O projeto realizado foi de acordo com o esperado inicialmente, prezando pela autonomia do sistema nos processos de drenagem e a praticidade na manutenção dos componentes elétricos. Além disso, a parte de maior interesse: a proteção de estruturas, bens materiais e a vida foram resguardadas de forma satisfatória.

Por fim, o comando foi projetado com o auxílio do CADE SIMU (2020) e foi reafirmado com a montagem do painel de comando, que também apresentou uma performance eficiente e comprometedor para o problema específico. Com os desafios do projeto de drenagem em operações críticas, o aprendizado foi de grande relevância para a fixação dos conceitos básicos e avançados, além disto, o projeto proporcionou novos conhecimentos sobre a área de sistema de manobra e comando.

REFERÊNCIAS

- ALTUS. **A importância da redundância em sistemas de automação industrial**. Rio Grande do Sul: Altus, [20–]. Disponível em: <https://www.altus.com.br/post/424/a-importancia-da-redundancia-em-sistemas-de-automacao-industrial>. Acesso em: 26 set. 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5410**: instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- CADE SIMU. **Software de comandos elétricos**. [S.l.]: Cade Simu, 2020. Disponível em: <https://www.cadesimu.net/>. Acesso em: 29 dez. 2022.
- CAGECE. **Termo de referência para a aquisição de painéis elétricos com soft starter**. Ceará: Cagece, 2010. Disponível em: <https://www.cagece.com.br/wp-content/uploads/PDF/TermosReferencia/tr02-paineis-partida-suave.pdf>. Acesso em: 27 dez. 2022.
- CLAUDINO, C. M. A. *et al.* **Bombas hidráulicas**: uma abordagem quanto às grandezas, características, classificação e problemas. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM CIÊNCIAS, 5., [2020], Campina Grande. **Anais [...]**. Campina Grande: Conapesc, [2020]. Disponível em: https://editorarealize.com.br/editora/anais/conapesc/2020/TRABALHO_EV138_MD1_SA_ID264_29052020102314.pdf. Acesso em: 27 dez. 2022.
- COTRIM, A. A. M. B. **Instalações elétricas**. 5. ed. São Paulo: Pearson, 2009.
- CREDER, H. **Instalações elétricas**. 17. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2022.
- DANTAS, L. F. P. **Sistema eletrônico de controle e alternância automática para dois motores de indução**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia da Computação) - Faculdade de Exatas e Tecnologia, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2007.

EEEP. **Curso técnico em automação industrial**. Ceará: Governo do estado do Ceará, [20–].

Disponível em:

https://www.seduc.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/37/2012/08/automacao_industrial_hidraulica_e_pneumatica.pdf. Acesso em: 13 dez. 2022.

MATTEDE, H. **Botoeiras, tipos e aplicações**. Belo Horizonte: mundo da elétrica, [20–].

Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/botoeiras-tipos-e-aplicacoes/>. Acesso em: 29 dez. 2022.

FAMAC MOTOBOMBAS. **FBS-NG: Motobombas submersíveis**. Santa Catarina: Famac

Motobombas, 2022. Disponível em: <https://en.famac.ind.br/produto/submersivel/fbs-ng-jac/#>.

Acesso em: 27 out. 2022

FERREIRA, C. **Saiba mais sobre o sistema de drenagem subterrâneo: vantagens e**

materiais utilizados. São Bernardo do Campo: Impermeabilização, 2019. Disponível em:

<https://impermeabilizacao.komercialize.com.br/Post/106/saiba-mais-sobre-o-sistema-de-drenagem-subterraneo-vantagens-e-materiais-utilizados>. Acesso em: 20 out. 2022.

HENRIQUE, J. B. **SAA0167: Princípios de aviação e navegação**. São Carlos: Universidade

de São Paulo Escola de Engenharia de São Carlos Departamento de Engenharia Aeronáutica,

2018. Disponível em:

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5631777/mod_resource/content/0/Apostila%20-%20Avi%C3%B4nica.pdf. Acesso em: 26 set. 2022.

JANETE. **Água subterrânea**. [S.l.]: Conexão Editorial, [20–]. Disponível em:

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5615826/mod_resource/content/1/AguaSubterranea.pdf. Acesso em: 18 out. 2022.

MAMEDE, J. F. **Instalações elétricas industriais**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

MORO, C. F. **Acionamentos elétricos**. 5. ed. São Paulo: Editora Érica, 2014.

PEREIRA, L. L. S. **Análise de motobombas submersas com diferentes acionamentos elétricos a partir da roda de falhas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

RIBEIRO, A.; JERONIMO, R. **Como identificar e resolver infiltrações**. [S.l.]: CYZ VEDAC, [20–]. Disponível em:
<https://cyz.ind.br/wp-content/uploads/2019/08/Como-Identificar-e-Resolver-Infitra%C3%A7%C3%B5es-Guia-R%C3%A1pido-CYZ.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

SIEMBRA. **A evolução da automação**. [S.l.]: Siembra, [20–]. Disponível em:
<https://www.siembra.com.br/noticias/o-que-e-automacao-industrial/>. Acesso em: 28 dez. 2022.

WEG. **Módulo 1**: comando e proteção. [S.l.]: weg, [20–]. Disponível em:
[https://docente.ifsc.edu.br/rafael.grebogi/MaterialDidatico/Eletromecanica/Eletricidade%20Industrial%20\(OLD\)/M1%20-%20Comando%20e%20Prote%C3%A7%C3%A3o.pdf](https://docente.ifsc.edu.br/rafael.grebogi/MaterialDidatico/Eletromecanica/Eletricidade%20Industrial%20(OLD)/M1%20-%20Comando%20e%20Prote%C3%A7%C3%A3o.pdf). Acesso em: 26 out. 2022.

WEG. **MPW**: disjuntores motores. Jaraguá do Sul: weg, 2021. Disponível em:
<https://static2.weg.net/medias/downloadcenter/h1b/h43/WEG-disjuntores-motores-linha-mpw-50009822-catalogo-portugues-br-dc.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2022.

WEG. **RW**: relés de sobrecarga térmicos. Jaraguá do Sul: weg, 2021. Disponível em:
<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h3f/h86/WEG-reles-de-sobrecarga-termico-linha-rw-50042397-catalogo-portugues-br-dc.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2022.

WEG. **Contator CWB18-11-30D23**. [S.l.]: weg, 2023. Disponível em:
<https://www.weg.net/catalog/weg/PR/pt/c/CONTATOR-CWB18-11-30D23/p/12220436>. Acesso em: 15 jan. 2023.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ADDENS. **Chaves de duas posições de Taboão da Serra**. Taboão da Serra: addens, [20–].

Disponível em:

<http://www.addens.com.br/inversores-de-frequencia/chaves-seletoras-e-sinaleiros/chave-seletora-2-posicoes-para-painel-eletrico/chaves-2-posicoes-taboao-da-serra>. Acesso em: 29 dez. 2022.

BUFFALO. **Manual de instruções para bombas submersíveis**. Costeira São José dos Pinhais: buffalo, [20–]. Disponível em:

<https://www.buffalo.com.br/upload/produtos/manuais/82ee00bf5f1d715ae4663b018b508fd7.pdf>. Acesso em: 27 dez. 2022.

HENRIQUE, H. **Comandos elétricos**: simbologia, associação de contatos e conceitos básicos. Mossoró: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, [20–]. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/heliopinheiro/Disciplinas/maquinas-e-acionamentos-eletricos-ii/conceitos-de-comandos-eletricos>. Acesso em: 28 dez. 2022.

PRYSMIAN GROUP. **Instalações elétricas residenciais**: Garanta uma instalação elétrica segura. São Paulo: Prysmian, 2006. Disponível em:

http://www.uft.edu.br/engambiental/prof/catalunha/arquivos/ei/IER_Prysmian.pdf. Acesso em: 27 dez. 2022.

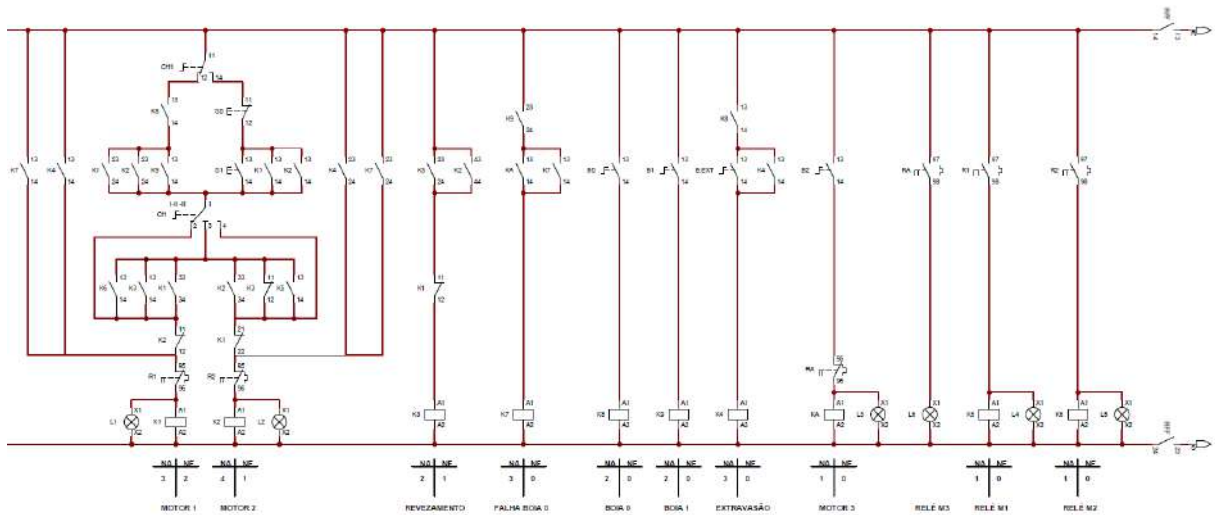
TRON CONTROLES ELÉTRICOS. **Ficha técnica**: quadro de comandos com revezamento de motores e bombas. Recife: Tron Controles elétricos, [20–]. Disponível em:

<https://loja.tron-ce.com.br/produto/qrm-03-chave-de-revezamento-de-motores-monofasico-220vca-1-5-2cv-8-12-5a-45>. Acesso em: 27 dez. 2022.

Anexo A - Comando final

O comando completo, conforme a figura 40, tem a adição de dois contatos abertos do relé falta de fase, a quantização dos contatos de cada contator e a nomeação da funcionalidade de cada contator.

Figura 40: Sistema final de comando



Fonte: Produção do próprio autor

Anexo B - Montagem do sistema

O sistema de comando foi montado em um suporte de madeira, a bandeja do quadro tem disposição paralela a tampa para o melhor entendimento do comando. As quatro primeiras lâmpadas de sinalização de sobrecarga e contator energizado são dos motores 1 e 2. Abaixo tem a chave ch2 na qual isola os modos bomba 1, bomba 2 e revezamento. Na terceira linha as lâmpadas de sinalização de sobrecarga e contator energizado são do motor 3, mais a direita a ch1 seleciona o manual e automático. A botoeira do sistema manual possui dois contatos s1 (contato normalmente aberto simbolizado pela cor verde) e s0 (contato normalmente fechado simbolizado pela cor vermelha). Por fim, a última linha da placa são as boias b0, b1, bext e b2 que são representadas por uma chave de duas posições, a figura 41 mostra o painel em sua totalidade.

Figura 41: Montagem do sistema de comando e manobra



Fonte: Produção do próprio autor

Há algumas observações pertinentes na montagem do circuito de força eletromotriz e comando. Colocou-se três bornes para a alimentação do sistema, nove bornes para a ligação direta dos três motores e oito bornes para o fechamento das boias. A alimentação trifásica deve ser precedida de um disjuntor geral para a proteção dos ramais. Na parte de potência optou-se por utilizar barramento do tipo pente com distribuição trifásica. O barramento de proteção está localizado na parte inferior esquerda da bandeja, em que possui uma disposição que fixa nos trilhos.

Com a montagem do sistema de comando foram realizados os mesmos testes (CADE SIMU, 2020). As figuras de 42 a 49 mostram o funcionamento normal e particular do painel.

Figura 42: Seleção do modo bomba 1 no painel



Fonte: Produção do próprio autor

Figura 43: Seleção do modo bomba 2 no painel



Fonte: Produção do próprio autor

Figura 44: Ativação da boia de extravasão no quadro



Fonte: Produção do próprio autor

Figura 45: Falha da boia b0 no painel



Fonte: Produção do próprio autor

Figura 46: Falha da boia b1 no painel



Fonte: Produção do próprio autor

Figura 47: Ativação do motor 3 pela boia b2 no painel



Fonte: Produção do próprio autor

Figura 48: Modo revezamento com a bomba 2 em sobrecarga no painel



Fonte: Produção do próprio autor

Figura 49: Modo revezamento com a bomba 1 em sobrecarga no painel



Fonte: Produção do próprio autor